

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN REMOLQUE DE DOS NIVELES PARA
MONOPLAZAS FSO2-e FORMULA SENA ECO 2012-2013 Y FORSSA FSS1**

ALEJANDRO SIERRA VARGAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2015

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN REMOLQUE DE DOS NIVELES PARA
MONOPLAZAS FSO2-e FORMULA SENA ECO 2012-2013 Y FORSSA FSS1**

ALEJANDRO SIERRA VARGAS

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero mecánico**

Director

M. Sc. RICARDO ALFONSO JAIMES ROLON

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

A Dios por darme salud, fortaleza y porque me ha puesto personas muy importantes y maravillosas durante toda mi vida.

A mi madre Yolanda Vargas Fontecha por su cariño, amor, consejos y constante apoyo en tiempos difíciles y de decaimiento y quien fue la primera persona en creer y confiar en mi para alcanzar este logro.

A mi padre Roberto Sierra Higuera que ha sido mi guía, mi ejemplo, mi punto de referencia y permanente apoyo en este proceso de formación.

A mis hermanas Melissa y Fernanda que estuvieron compartiendo conmigo todas mis alegrías y tristezas y que siempre tuvieron una sonrisa en su rostro que me ayudo a seguir adelante

A mi novia Laura que ha estado apoyándome, brindándome cariño y comprensión durante todo este proceso de formación.

A mi hija Valentina que ha sido una bendición de Dios y llego a mi vida para alegrarla y darme el ultimo empujoncito que necesitaba para cumplir con este sueño que algún día empecé.

A mis familiares que me acompañaron en este proceso y siempre estuvieron dándome una palabra de afecto y ánimo para lograr llegar a esta meta.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Ricardo Jaimes Rolón, director del proyecto de grado y gran amigo por su inmensa colaboración, orientación y conocimiento compartido.

Al selecto grupo de profesores de la Universidad Industrial de Santander por su interés y dedicación en el proceso de formación de nuevos profesionales.

A la Subdirectora del Centro Industrial de Mantenimiento Integral Claudia Celina Marín Ariza por depositar su voto de confianza en tan importante labor en la cual me desempeñe.

A los instructores del área de soldadura en especial a Néstor Pérez y Jhon Hernández que siempre estuvieron aportando ideas y compartiendo sus conocimientos para lograr este proyecto.

A los aprendices de la especialidad de trazado, corte, conformado y armado Gustavo García, Wilson Morales y Andrés Martínez por su colaboración incondicional en la fabricación de este proyecto.

A todos mis amigos que hicieron parte de mi familia universitaria con quienes viví momentos amargos pero también viví muchos momentos de éxito y grandeza y de los cuales me llevo muchos recuerdos y anécdotas.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron en mi proceso de formación profesional.

¡A todos muchas gracias!

CONTENIDO

INTRODUCCION	17
1. JUSTIFICACION.....	18
2. OBJETIVOS.....	19
2.1. OBJETIVO GENERAL	19
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3. ESTADO DEL ARTE.....	20
3.1. REMOLQUE	20
3.1.1. Remolque balaceado.	20
3.1.2. Remolque no balanceado.	21
3.2. ACOPLADOS.....	22
3.3. SEMIREMOLQUE.....	22
3.4. TRÁILER.....	23
3.5. CAMA BAJA.....	24
3.6. NIÑERA	24
3.7. CARGA EXTRADIMENSIONADA.....	25
4. DISEÑO CONCEPTUAL.....	27
4.1. DESPLIEGUE DE LA FUNCION CALIDAD (QFD)	27
4.1.1. Requerimientos del consumidor.....	27
4.1.2. Organización de requerimientos.	28
4.2. ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE ELEVACIÓN.....	30
4.2.1. Opción 1: rin adaptado.....	30
4.2.2. Opción 2: malacate manual.	32
4.2.3. Opción 3: malacate eléctrico.....	32

4.2.4. Opción 4: cilindros hidráulicos.	33
4.2.5. Evaluación de las opciones de diseño.	34
4.3. ALTERNATIVAS PARA LA SUSPENSIÓN.....	34
4.3.2. Opción 2: suspensión neumática.	36
4.4. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.....	37
5. DIMENSIONES DEL REMOLQUE DE ACUERDO A CADA MONOPLAZA	38
5.1. MONOPLAZA SIMULADOR	39
5.2. MONOPLAZA DE GASOLINA	40
5.3. MONOPLAZA ELÉCTRICO	41
5.4. CRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE LA PERFILERIA Y TUBERIA	43
6. DISEÑO DEL PRIMER NIVEL	45
6.1. CALCULO DE LA DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS CAUSADAS POR EL PESO DEL MONOPLAZA.	46
6.2. FORMA DEL CHASIS DE ACUERDO A UBICACIÓN DE LAS RUEDAS	50
6.2.1. Alternativa # 1: remolque entre ruedas.	50
6.2.2. Alternativa # 2: remolque sobre ruedas.	51
6.2.3. Alternativa # 3: ruedas intermedias.....	52
6.3. NUMERO DE EJES DEL REMOLQUE.....	52
6.3.1. Ubicación de los ejes.	53
7. DISEÑO DEL SEGUNDO NIVEL.....	55
7.1. SELECCIÓN DE LA GEOMETRÍA Y DIMENSIONES DEL SEGUNDO NIVEL	60
7.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA FRONTAL O SOPORTE DELANTERO.....	61
7.3. DISEÑO DE COLUMNAS DE APOYO PARA EL SEGUNDO NIVEL.....	67
8. SISTEMA DE ELEVACION.....	70

8.1. UBICACIÓN DE PUNTOS DE ANCLAJE DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS.....	71
8.2. DETERMINACIÓN DE LAS FUERZAS Y REACCIONES.....	73
8.3. DIMENSIONES DEL CILINDRO HIDRÁULICO.....	75
8.3.1. Longitud del cilindro.....	75
8.3.2. Diámetro de vástago y diámetro del cilindro.....	76
8.3.3. Caracterización de cada cilindro hidráulico.....	78
8.4. CALCULO DEL CIRCUITO HIDRAULICO.....	79
9. SISTEMAS DE SEGURIDAD.....	84
9.1. COLUMNAS PARA ASEGURAR EL SEGUNDO NIVEL.....	84
9.2. SOPORTES DE ESTABILIZACIÓN.....	84
9.3. LUCES DE AVISO.....	85
9.4. FRENOS.....	85
10. FABRICACIÓN.....	86
11. PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	96
11.1. CARGA ESTATICA.....	96
11.2. CARGA DINÁMICA.....	97
11.3. REMOLQUE EN MOVIMIENTO.....	100
12. CONCLUSIONES.....	102
13. RECOMENDACIONES.....	104
BIBLIOGRAFIA.....	105
ANEXOS.....	106

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Remolque balanceado	21
Figura 2. Remolque no balaceado	21
Figura 3. Acoplado	22
Figura 4. Semirremolque	23
Figura 5. Tráiler.....	23
Figura 6. Cama baja	24
Figura 7. Niñera	24
Figura 8. Rin auxiliar	30
Figura 9. Sistema de poleas	31
Figura 10. Sistema de poleas 2	31
Figura 11. Malacate manual	32
Figura 12. Malacate eléctrico	32
Figura 13. Cilindros hidráulicos.....	33
Figura 14. Hojas de ballesta	35
Figura 15. Suspensión neumática.....	36
Figura 16. Concepto del diseño a desarrollar	37
Figura 17. Monoplazas SENA.....	38
Figura 18. Monoplaza Simulador	39
Figura 19. Monoplaza gasolina	40
Figura 20. Monoplaza eléctrico	41
Figura 21. Centro de masa monoplaza	45
Figura 22. Diagramas de cortante y flector	47
Figura 23. Simulación de cargas primer nivel	48
Figura 24. Deformación primer nivel	49
Figura 25. Esfuerzo máximo combinado primer nivel	49
Figura 26. Chasis con ruedas externas	51
Figura 27. Ruedas internas.....	51

Figura 28. Primer nivel modificado.....	52
Figura 29. Ubicación de los ejes	54
Figura 30. Diagrama de cortante y flector segundo nivel.....	56
Figura 31. Simulación cargas segundo nivel opción 1	57
Figura 32. Simulación de la deformación total segundo nivel opción 1.....	57
Figura 33. Simulación esfuerzo máximo combinado segundo nivel opción 1	58
Figura 34. Simulación cargas segundo nivel opción 2.....	59
Figura 35. Simulación deformación total segundo nivel opción 2	59
Figura 36. Simulación esfuerzo máximo combinado segundo nivel opción 2	60
Figura 37. Geometría segundo nivel ganadora.....	61
Figura 38. Reacción en los apoyos en la posición crítica.....	62
Figura 39. Cargas en la estructura frontal.....	63
Figura 40. Deformación causada por la carga en la estructura frontal.....	64
Figura 41. Esfuerzo máximo generado en la estructura frontal	64
Figura 42. Carga de 100 Kg en los tubos de soporte de la estructura frontal	65
Figura 43. Deformación causada por las cargas de 100 Kg	66
Figura 44. Esfuerzo causado a dos cargas de 100 Kg en la estructura frontal	66
Figura 45. Reacciones en las columnas de apoyo.....	67
Figura 46. Longitud efectiva en columnas	69
Figura 47. Posición inicial o crítica.....	70
Figura 48. Posición final.....	70
Figura 49. Platina de tiro	71
Figura 50. Primer sitio de anclaje de los actuadores	72
Figura 51. Sitio final de anclaje	72
Figura 52. Ángulos generados en el momento justo antes del movimiento	73
Figura 53. DCL del segundo nivel.....	73
Figura 54. Longitud mínima de los cilindros.....	75
Figura 55. Cilindro hidráulico	77
Figura 56. Esquema circuito hidráulico posición central	81
Figura 57. Esquema circuito hidráulico posición izquierda y derecha.....	81

Figura 58. Cilindro hidráulico seleccionado del catalogo Enerpac.....	83
Figura 59. Soporte estabilización.....	84
Figura 60. Luces de aviso.....	85
Figura 61. Soldadura primer nivel.....	86
Figura 62. Soldadura sujeción segundo nivel.....	87
Figura 63. Soldadura fijación segundo nivel.....	87
Figura 64. Comparación dimensional de los dos niveles.....	88
Figura 65. Soporte ballesta CAD.....	88
Figura 66. Soporte ballesta.....	89
Figura 67. Aprendices Mecatronica-SENA fijando la suspensión.....	89
Figura 68. Ejes sobre la suspensión.....	90
Figura 69. Amortiguador y manguera de frenos.....	90
Figura 70. Espacio de ingreso de la rueda.....	91
Figura 71. Unión primer nivel con frontal.....	91
Figura 72. Unión pie de amigo y columnas al remolque.....	92
Figura 73. Pintado con anticorrosivo.....	92
Figura 74. Paralelismo segundo nivel con las rampas.....	93
Figura 75. Soldadura base cilindros hidráulicos.....	93
Figura 76. Malacate.....	94
Figura 77. Remolque SENA.....	94
Figura 78. Pasador segundo nivel.....	95
Figura 79. Pasador base estabilizadora remolque.....	95
Figura 80. Aprendiz CIMI midiendo deformaciones del remolque.....	96
Figura 81. Medición primer y segundo nivel respectivamente.....	97
Figura 82. Eje trasero en desnivel.....	98
Figura 83. Inicio prueba carga dinámica.....	98
Figura 84. Cilindros hidráulicos a mitad de recorrido.....	99
Figura 85. Carga en posición horizontal sin aseguramientos.....	99
Figura 86. Remolque en movimiento sobre terreno destapado.....	100
Figura 87. Remolque en movimiento sobre el pavimento.....	101

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Designación y dimensiones	26
Tabla 2. Matriz de la función calidad (QFD).....	29
Tabla 3. Comparación métodos de elevación	33
Tabla 4. Evaluación de opciones de diseño.....	34
Tabla 5. Comparación de dimensiones monoplazas CIMI	42
Tabla 6. Resumen designaciones y dimensiones	42
Tabla 7. Comparación dimensional.....	43
Tabla 8. Tubería seleccionada.....	44
Tabla 9. Perfilera seleccionada.....	44
Tabla 10. Comparación entre las dos opciones de segundo nivel.....	60
Tabla 11. Velocidades de flujo recomendadas en conductos y tuberías	79
Tabla 12. Distancia de cada nivel al suelo.....	97

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Resolución 004100 de 2004	CD
ANEXO B. Norma Técnica Colombiana 4780 Del 2000	CD
ANEXO C. Pandeo de columnas	CD
ANEXO D. Catalogo Enerpac	CD
ANEXO E. Soldadura MIG MAG	CD
ANEXO F. Planos	CD

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN REMOLQUE DE DOS NIVELES PARA MONOPLAZAS FSO2-e FORMULA SENA ECO 2012-2013 Y FORSSA FSS1*

AUTOR:

ALEJANDRO SIERRA VARGAS**

PALABRAS CLAVES:

Remolque no balanceado, monoplaaza, transporte, diseño

DESCRIPCION

El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) en los últimos años ha querido vincular a sus estudiantes en el proceso de aprendizaje por proyectos en el cual los aprendices son los protagonistas de su propio aprendizaje es por esto que se han fabricado en el interior del Centro Industrial de Mantenimiento Integral (CIMI) 1 vehículo simulador y 2 monoplaazas tipo competencia, dicha competencia se realiza en el autódromo de Tocancipá en el cual se ponen a prueba estos vehículos contra los desarrollados en las otras regionales del SENA.

El proceso de transporte de los monoplaazas, se torna difícil dado a que la geometría de estos es muy distinta a los vehículos transportados en niñeras y vehículos de carga convencionales es por esto que se tuvo la necesidad de desarrollar un transporte que sea seguro, estable y de fácil operación.

En el interior de este libro se encuentra documentado el proceso de cálculo, diseño, fabricación y puesta a punto de un remolque no balanceado para el transporte de dos monoplaazas tipo competencia para el SENA regional Santander, es por esto que se muestra en modo secuencial en un principio la selección de la geometría crítica, luego el diseño y análisis por medio de software especializados como lo son SolidWorks y ANSYS (Workbench) de cada uno de niveles del remolque, al igual que los elementos de soporte, también se presenta la selección del número de ejes y algunos componentes esenciales para el funcionamiento como los cilindros hidráulicos para el proceso de elevación y ubicación de un monoplaaza sobre el otro, finalmente se presenta un protocolo de pruebas dinámicas y estáticas para corroborar lo diseñado y seleccionado en el transcurso de este proyecto de grado.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director: M. Sc. Ricardo Jaimes Rolón.

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A TOWING OF TWO LEVELS FOR SINGLE-SEATERS FSO2-E FORMULA SENA ECO 2012-2013 Y FORSSA FSS1*

Author:

ALEJANDRO SIERRA VARGAS**

KEYWORDS:

Trailer unbalance, single-seaters, transport, design.

DESCRIPTION

The National Apprenticeship Service (SENA), in the last years has wanted to involve their students in the apprenticeship process by projects, where the apprentices are protagonist of their apprenticeship. For that reason, the Industrial Center Facility Management (CIMI) has built one vehicle simulated and two single-seater racing type. The racing is realized at Tocancipa's racetrack where these vehicles are tried against other Sena's vehicles.

The transport's single-seater process, is difficult because the single-seater's geometry is different to the vehicles transporting by auto transport and conventional heavy vehicles, being that the reason to develop a transport to be secure, stable and easy operation.

In this book, it can find documenting the adequate process that includes calculus, design, fabrication and continuous improvement from an unbalanced trailer for the single-seater's racing type transport, for the Santander's Sena, is for that is showed a sequential steps. First, the critique geometry. Second, the design and analysis that included the next software (SolidWorks and ANSYS), where was developed the different trailer's levels and the support parts. Third, in the book is showed the axis numbers selected and some essential parts such as: hydraulic cylinders for the elevation and location process from the single-seater over the each other. Finally, the book showed a protocol of dynamics and statics proofs for confirm the design and selected along of this thesis.

* Degree work

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director: M. Sc. Ricardo Jaimes Rolon.

INTRODUCCION

El presente documento contiene el diseño, fabricación y puesta en marcha de un remolque no balanceado con sus respectivos análisis y simulaciones al igual que la metodología implementada para el desarrollo de cada uno de los componentes que hacen parte del mismo. Durante el transcurso del documento, se seleccionaran elementos estructurales y se analizaran las interacciones con otros elementos.

El transporte para los vehículos de competencia que se tiene en el Centro industrial de mantenimiento integral se ha convertido en una dificultad dado a que los monoplazas poseen dimensiones muy distintas a las que tiene un automóvil convencional que puede ser transportado en niñeras como se hacer normalmente; es por esto que se toma la decisión de diseñar y construir un vehículo que supla dichas necesidades.

Para el desarrollo del presente proyecto se contó con la presencia y colaboración de instructores del CIMI al igual que de aprendices de la especialidad trazado, corte, conformado y armando los cuales tuvieron un gran reto al encontrarse con una estructura distinta a las que están acostumbrados a soldar.

1. JUSTIFICACION

El transporte de vehículos de competencia fabricados por el SENA hacia las distintas ciudades de Colombia, es realizado por niñeras o nodrizas en las cuales se pueden trasportar automóviles con dimensiones parecidas (batallas y trochas), pero debido a la geometría de los monoplazas de competición fabricados por el SENA, esta labor de transporte se torna difícil y complicada por lo cual es necesario diseñar y construir un medio de transporte adecuado para este tipo de vehículos.

En la medida que se diseñan y seleccionan cada uno de los distintos elementos; mediante un estudio previo, analizando y verificando resultados se va llegando a un remolque optimo, viendo estos resultados al momento de la movilización de los monoplazas gracias a la reducción de peso, facilidad en la operación, mayor estabilidad en carretera y por consiguiente, una mayor seguridad. Para lograr esto, será necesario seleccionar las mejores características para cada uno de los elementos y materiales que se verán reflejados en la estructura y suspensión del remolque.

Dicho esto será necesario un diseño que sea liviano pero a la vez muy resistente a las deformaciones estructurales que pudieran presentarse con el pasar del tiempo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir el remolque de dos niveles para monoplazas fso2e formula Sena eco 2012-2013 y forssa fss1 y con esto contribuir con la misión de la universidad industrial de Santander de aportar al avance tecnológico y generar conocimiento así como desarrollar habilidades para diseñar soluciones a las necesidades de la región.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Diseñar y construir un remolque de dos pisos, en el que se pueda transportar los dos monoplazas fabricados en el CIMI (centro industrial de mantenimiento integral SENA) fso2-e formula Sena eco 2012-2013 y forssa fss1cumpliendo con los parámetros exigidos por la resolución 004400 del Ministerio de Transporte y la Norma Técnica Colombiana 4788.
- ✓ Diseñar un circuito hidráulico con el fin de levantar y sostener los 514 kilogramos que pesa el monoplaza que será ubicado en el segundo nivel del remolque.
- ✓ Establecer un sistema de seguridad para evitar accidentes.
- ✓ Crear un protocolo de pruebas para verificar los parámetros establecidos de diseño tanto para carga estática como carga dinámica, haciendo uso de técnicas que nos permitan medir o determinar variaciones en la estructura.

✓ 3. ESTADO DEL ARTE

Es muy común escuchar los términos remolque, remolque balanceado semirremolque, tráiler, acoplado, cama baja, niñera, y tender a creer que se está hablando de lo mismo ya que si bien es cierto que cumplen el mismo fin específico: transportar cargas a través de las carreteras de los distintos países del mundo, existen algunas diferencias y similitudes con el desarrollo de este proyecto se explicará esto.

3.1. REMOLQUE

Es un vehículo de carga que consta de partes básicas para dicha función como lo son ruedas, chasis, área destinada para la ubicación de la carga y de acuerdo si se trata de un remolque ligero o no, deberá llevar su propio sistema de freno.

Dependiendo si el remolque transmite parte de su peso al vehículo tractor, podemos tener remolques balanceados o no balanceados.

3.1.1. Remolque balanceado.

Como su nombre lo indica, en este tipo de remolques se trata de ubicar los ejes de las ruedas en el centro de masa de la carga para de esta forma no transmitir ningún tipo de carga al vehículo que será usado para hallar dicho remolque.

Figura 1. Remolque balanceado



Fuente: Remolque, [tomada de internet el 17 de septiembre del 2014] disponible en línea URL:
<http://www.omegadexochimilco.com/remolque%202.htm>

3.1.2. Remolque no balanceado.

En este caso a diferencia de la descripción anterior lo que se quiere es aportar parte de la carga al vehículo para de esta forma ayudar en la tracción del vehículo de arrastre para lograr esto, los ejes son desplazados hacia atrás, este tipo de remolques es muy utilizado en la industria agrícola en situaciones en las que se une a un tractor para hacer labores en el campo.

Figura 2. Remolque no balanceado



Fuente: Remolque agrícola, [tomada de internet el 17 de septiembre del 2014] disponible en línea URL:
<http://www.tracsa.com.mx/marcas/bison/productos/remolques-agricolas.>

En el transcurso del desarrollo del presente documento se guiará desde el diseño hasta la fabricación y puesta en marcha de un remolque de este tipo.

3.2. ACOPLADOS

Vehículo no automotor, destinado a ser remolcado y debido a su diseño y construcción están hechos para no transmitir ningún porcentaje de su peso al vehículo remolcador, tiene dirección propia y ejes tanto en la parte delantera como en la trasera, normalmente se une a un semirremolque y así poder transportar una mayor carga.

Figura 3. Acoplado



Fuente: Acoplado, [tomada de internet el 17 de septiembre del 2014] disponible en línea URL:
<http://www.disancarrocarias.com.ar/productos/acoplados>

3.3. SEMIREMOLQUE

Al igual que el remolque, es un vehículo sin motor que debe ser arrastrado por un automotor, pero con la diferencia que este va unido por medio de a la “quinta rueda” del tracto camión por medio de un perno denominado “perno Rey” con el cual queda totalmente sujeto y sin posibilidad de que se desenganche sea en movimiento o estacionado, este desacople solo es posible por medio de una pieza de seguridad que el conductor manipula.

La gran diferencia entre el remolque y semirremolque, es que este último no tiene ejes delanteros es por esto que está dotado de “patas de levante” las cuales son columnas metálicas que sirven de apoyo cuando el vehículo no está enganchado al tracto camión.

Figura 4. Semirremolque



Fuente: Semirremolque, [tomada de internet el 17 de septiembre del 2014] disponible en línea URL: <http://www.viarural.com.uy/agricultura/acoplados-tolvas/randon/semirremolque-sider-01.htm>

3.4. TRÁILER

Es como comúnmente se le conoce a la unión del semirremolque con el tracto camión; este término es muy usado en Centroamérica y norte américa para referirse a dicho conjunto.

Figura 5. Tráiler



Fuente: tráiler, [tomada de internet el 17 de septiembre del 2014] disponible en línea URL: http://mx.accelera.com/noticias/el-trailer-del-futuro-de-walmart_4348

3.5. CAMA BAJA¹

Carrocería de estructura plana descubierta, diseñada para el transporte de carga pesada o carga sobredimensionada, este tipo de vehículos tiene una característica especial en la altura del chasis, la cual es menor que otros vehículos, lo que permite tener un mayor número de ejes, para poder soportar un mayor peso.

Figura 6. Cama baja



Fuente: cama baja, [tomada de internet el 17 de septiembre del 2014] disponible en línea URL: <https://sites.google.com/site/saavedraarica/trasladodemaquinarias>

3.6. NIÑERA

Niñera o Nodriza, es el nombre que se les da a los automoteres que fueron diseñados para transportar por vía terrestre automoviles, estan diseñados y fabricados de dos plataformas para poder transportar una mayor cantidad de vehiculos en su interior.

¹ COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA. Guía para el transporte de carga: GSSL – GEM – G050. . Lima, Perú. Enero 2013. Consultado el 17 de septiembre 2014. Disponible en: http://www.antamina.com/wp-content/uploads/2014/09/logistica_guia_transporte201403.pdf

Figura 7. Niñera



Fuente: Vehículo niñera, [tomada de internet el 17 de septiembre del 2014] disponible en línea URL:
<http://webnometro.com/aprender-onlinepage/2>

3.7. CARGA EXTRADIMENSIONADA²

Según la normatividad actualmente vigente, se denomina carga extra dimensionada a aquella carga indivisible que excede las dimensiones de la carrocería de los vehículos convencionales homologados por el Ministerio de Transporte para la movilización de carga en tránsito normal por las vías públicas, para lo anterior el ministerio de transporte ha definido las dimensiones máximas permisibles en los diferentes tipos de vehículos de carga en su resolución 4100 del 26 de diciembre del 2004. Esta resolución fue consultada y sigue vigente hasta la fecha de la elaboración de este proyecto de grado.

Para la aplicación de la resolución, los vehículos de carga se designan de acuerdo a la configuración de sus ejes, de la siguiente manera:

² CESVI Colombia S.A. Boletín de seguridad vial. Transporte de carga extra dimensionada. "operación especial, medidas especiales". Edición No. 84. Es una obra colectiva producida por encargo y por cuenta y riesgo de CESVI COLOMBIA S.A. Editado por Cesvi Colombia en noviembre de 2007.

A. Con el primer dígito se designa el número de ejes del camión o del tracto camión (cabecote). B. La letra S significa semirremolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.

C. La letra R significa remolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.

D. La letra B significa remolque balanceado y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.

Tabla 1. Designación y dimensiones

Designación	Dimensiones (mts)		
	Ancho Máximo	Altura Máxima	Longitud Máxima
2S1	2.60	4.40	18.50
2S2	2.60	4.40	18.50
2S3	2.60	4.40	18.50
3S1	2.60	4.40	18.50
3S2	2.60	4.40	18.50
3S3	2.60	4.40	18.50
2R2	2.60	4.40	18.50
3R2	2.60	4.40	18.50
4R2	2.60	4.40	18.50
2R3	2.60	4.40	18.50
3R3	2.60	4.40	18.50
4R3	2.60	4.40	18.50
4R4	2.60	4.40	18.50
2B1	2.60	4.40	18.50
2B3	2.60	4.40	18.50
3B1	2.60	4.40	18.50
3B2	2.60	4.40	18.50
3B3	2.60	4.40	18.50
4B1	2.60	4.40	18.50
4B2	2.60	4.40	18.50
4B3	2.60	4.40	18.50
Remolque (R) y remolque balanceado (B)	2.60	4.40	10.00
Semirremolque (S)	2.60	4.40	13.00

Fuente: Dimensiones en vehículos de carga según el ministerio de transporte. CESVI Colombia S.A. Boletín de seguridad vial.

Todo vehículo que dentro de su clasificación exceda estas dimensiones, se considera extra dimensionado y requiere permisos y/o acompañamiento de la autoridad para su desplazamiento por carreteras nacionales.

4. DISEÑO CONCEPTUAL

El proyecto a realizar consta del diseño de elementos y piezas que conforman la solución más adecuada para la construcción de un remolque para transportar los dos vehículos de competición fabricados por el SENA en el CIMI.

Debido a la necesidad que se creó de transportar los monoplazas para distintos eventos nacionales impulsados con en el proyecto FORMULA SENA ECO, es posible desarrollar este tipo de proyecto con los aprendices de la especialidad de trazado, corte, conformado y armado de productos metálicos. Para este proyecto, se diseñaran planos de la estructura al igual que los distintos componentes que hacen parte de la misma; con ayuda de simulaciones con software especializado se tomaran decisiones para así poder con la posterior construcción del remolque.

4.1. DESPLIEGUE DE LA FUNCION CALIDAD (QFD)

4.1.1. Requerimientos del Consumidor.

A continuación se establecen las demandas básicas de los interesados en el desarrollo del remolque:

- Bajo Peso
- Seguridad
- Estable
- Fácil mantenimiento
- Económico
- Resistente a las inclemencias del clima
- Buen aspecto
- Resistencia al desplazamiento en las distintas carreteras colombianas.

4.1.2. Organización de requerimientos.

Los requerimientos del remolque se ordenaron en subgrupos de acuerdo a sus relaciones:

Construcción:

- ✓ Fácil de construir
- ✓ Económica
- ✓ Planos
- ✓ Rápida
- ✓ Tamaño robusto
- ✓ Precisa
- ✓ Pocas piezas

Operación:

- ✓ Segura
- ✓ Poca vibración
- ✓ Facilidad operación

Prolongado servicio:

- ✓ Resistente
- ✓ Fácil mantenimiento

Tabla 2. Matriz de la función calidad (QFD)

		Tolerancias	tamaño	Seguridad	Liviano y resistente	Montaje	Piezas estándar	fácil operación	Materiales económicos	Fácil Construcción	Hojas de cálculo y Planos	Poca Vibración
Durabilidad	8	9	5	9	8	8	9	8	6	9	9	4
		72	40	72	72	64	72	64	48	72	72	32
Bajo de peso	8	2	7	9	9	4	3	1	6	6	9	9
		16	56	72	72	32	24	8	48	48	72	72
Estable	8	9	1	9	9	7	1	9	9	9	9	8
		72	8	72	72	56	8	72	72	72	72	64
buen aspecto	5	1	4	1	1	9	3	9	1	9	9	1
		5	20	5	5	45	15	45	5	45	45	25
Económica	4	3	9	9	9	3	6	6	9	9	1	1
		12	36	36	36	12	24	24	36	36	4	4
Resistente al desplazamiento	8	9	2	9	9	6	1	5	1	5	9	9
		72	16	72	72	48	8	40	8	40	72	72
Fácil Mantenimiento	4	8	9	6	1	9	9	7	6	9	9	1
		32	36	24	4	36	36	28	24	36	36	4
Resistente al clima	5	4	6	9	9	3	6	1	9	6	9	3
		20	30	45	81	15	30	5	81	36	45	15
TOTAL		301	242	398	414	308	217	286	322	385	418	209
PRORIDAD		7	9	3	2	6	10	8	5	4	1	11

4.2. ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMA DE ELEVACIÓN

A continuación se plantean alternativas para dar solución a la necesidad planteada; Estas alternativas fueron tomadas del medio en el cual nos desenvolvemos en el diario vivir.

La estructura es del tipo remolque no balanceado y las alternativas que se plantean a continuación serán acerca del método que se usa para subir el monoplaza de acuerdo a distintos principios que usa cada método.

4.2.1. Opción 1: Rin adaptado.

Consiste en la unión de un rin del mismo tamaño al que tienen las ruedas de las niñeras, el cual va a servir de carrete para enrollar la guaya que pasa por algunas poleas con el fin de levantar la carga, su gran ventaja es que no requiere mucho mantenimiento y su instalación es muy sencilla, la desventaja de este sistema es que se debe mover el remolque hacia adelante para que se pueda proceder a subir la carga y hacia atrás para bajar, a pesar que este movimiento no excede las tres vueltas de la rueda, es un poco incómodo en recintos pequeños.

Figura 8. Rin auxiliar



La guaya continúa su recorrido por un sistema de poleas como el que se muestra en la figuras 9 y 10, el cual disminuye la tensión de la guaya al momento de halarla con el rin.

Figura 9. Sistema de poleas



Figura 10. Sistema de poleas 2



4.2.2. Opción 2: malacate manual.

Esta opción es la más económica y es la que ocupa menos espacio, pero presenta la gran desventaja de que requiere que se le aplique un torque alto para poder subir la carga.

Figura 11. Malacate manual



Fuente: Remolque de dos pisos. Disponible en: URL:http://www.picstopin.com/625/remolque-para-coches-empresa-recojo-talleres-americanos-eeuulos/http:%7C%7Cwww*saintclassifiedperu*com%7Cuploads%7Cremolque-para-coches-d1e43*jpg/

4.2.3. Opción 3: malacate eléctrico.

Este dispositivo es de gran ayuda ya que no se necesita realizar la fuerza con nuestras propias manos, en vez de eso, el motor eléctrico realiza esa tarea por nosotros, es un poco costoso y requiere energía eléctrica para su funcionamiento.

Figura 12. Malacate eléctrico



Fuente: Malacate eléctrico, disponible en: <http://www.boletinindustrial.com/producto.aspx?pid=1085>

4.2.4. Opción 4: cilindros hidráulicos.

Los cilindros hidráulicos nos proveen de una gran fuerza de levantamiento de cargas además de una gran exactitud en el posicionamiento de dichas cargas, resultan un poco costos y requieren de energía eléctrica para el funcionamiento de la bomba.

Figura 13. Cilindros hidráulicos



Fuente: Remolque de dos pisos. Disponible en: <http://www.mercadoracing.org/31/245673/vendo-remolque-de-2-pisos-2coches.htm>

Tabla 3. Comparación métodos de elevación

	Fácil mantenimiento	Bajo costo	preciso	fácil montaje	Fácil accionamiento	Poco peso	Buen aspecto
Rin adaptado	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO
Malacate manual	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO
Malacate eléctrico	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI
Cilindros hidráulicos	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI

4.2.5. Evaluación de las opciones de diseño.

Para decidir cuál de estas opciones anteriormente mencionadas es la más adecuada, para cada una de las alternativas se hace una ponderación final que está de acuerdo a las indicaciones obtenidas del QFD.

Tabla 4. Evaluación de opciones de diseño

Evaluación de las opciones de diseño del remolque				Opción 1		Opción 2		Opción 3		Opción 4	
Criterios de evaluación		Parámetros	pond	Nota	Pond	Nota	Pond	Nota	Pond	Nota	Pond
Hojas de cálculo y planos	0,26	Buen aspecto	0,06	2	0,12	4	0,24	5	0,3	5	0,3
		Resistente al desplazamiento	0,2	3	0,6	4	0,8	4	0,8	4	0,8
Liviano y resistente	0,256	Peso	0,076	5	0,38	4	0,304	3	0,228	4	0,304
		Resistente al clima durabilidad	0,1	4	0,4	3	0,3	3	0,3	3	0,3
			0,08	4	0,32	3	0,24	4	0,32	4	0,32
Seguridad	0,246	seguro	0,246	4	0,984	2	0,492	5	1,23	5	1,23
Fácil construcción	0,238	económico	0,12	3	0,36	5	0,6	3	0,36	3	0,36
		Fácil mantenimiento	0,118	5	0,59	5	0,59	3	0,354	3	0,354
		total			3,718		3,666		3,892		3,968

Notas	1	Deficiente
	5	Optimo

4.3. ALTERNATIVAS PARA LA SUSPENSIÓN.

4.3.1. Opción 1: Suspensión Mecánica.

Uno de los elementos que más destacan en la suspensión mecánica es la hoja de ballesta, la cual se encuentra formada por hojas de acero templado de elevada resistencia a la flexión. Se basa principalmente en la fuerza de rozamiento que se genera entre las hojas producido por la fricción de las mismas.

La primera hoja se le conoce como hoja principal o maestra, la cual se encuentra doblada en sus extremos formando un ojillo donde se inserta un buje de hule o de bronce que reduce la fricción y el desgaste con el pasador o perno; la segunda hoja abraza la principal y las restantes (dependiendo la capacidad de carga del vehículo) son de menor longitud y estas se mantienen unidas por medio de un tornillo comúnmente conocido como “pitón”.

Figura 14. Hojas de ballesta



Fuente: suspensión de ballestas, disponible en: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leafs1.jpg>

4.3.2. Opción 2: Suspensión Neumática³.

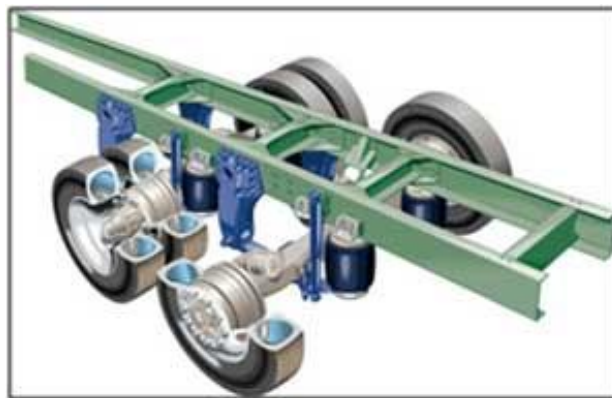
Este tipo de suspensión se está utilizando desde hace pocos años sobre todo en vehículos de alta gama. La suspensión neumática basa su funcionamiento en las propiedades que ofrece el aire sometido a presión. En esta suspensión, se sustituye el resorte mecánico (muelle, ballesta o barra de torsión) por un fuelle o cojín de aire que varía su rigidez.

La suspensión neumática permite:

- ✓ Adaptar la carrocería a distintas alturas en función de las necesidades de marcha.
- ✓ Adaptar la suspensión y la amortiguación a la situación de la calzada y a la forma de conducir.

Se caracteriza por su elevada flexibilidad, notable capacidad de amortiguación de las vibraciones y por la autorregulación del sistema que permite mantener constante la distancia entre el chasis y la superficie de carretera independientemente de la carga presente en el vehículo.

Figura 15. Suspensión neumática



Fuente: suspensión de vehículos pesados, Disponible en: <http://transporteinformativo.com/informacion-tecnica/el-sistema-de-suspension-en-los-vehiculos-pesados>

³MEGANEBY DANY. Suspensión. [en línea] Aficionados a la mecánica. Aficionados a la mecánica 2014. [Citada 17 de septiembre 2014] disponible en Internet: <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension9.htm>

4.4. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

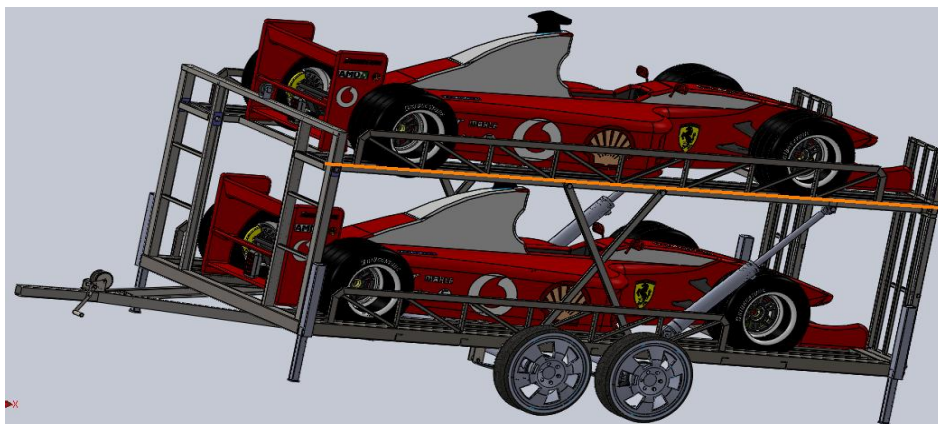
Para la solución de este requerimiento, se va hacer una estructura de dos niveles fabricada de perfiles y tubería de acero estructural de tal forma que sea resistente, pero liviano para minimizar el peso de dicha estructura.

En la suspensión se usarán ballestas dado que es la opción que más se utiliza en este tipo de estructuras además de ser la más económica y más resistente que se tiene de acuerdo a los requerimientos generados.

En el sistema de elevación se usarán cilindros hidráulicos de acuerdo a los datos de la tabla 4 los cuales serán en lo posible diseñados y fabricados en el CIMI. Para la estabilidad en momentos q se encuentre estacionado, se le adicionan columnas que servirán como soportes para toda la estructura.

Para acceder a la estructura se fabricarán unas rampas en el mismo material que el resto de la estructura que además de servir para que los monoplazas ingresen al remolque, también servirá, para soportar el segundo nivel en ocasiones que la situación lo amerite o la carga se desplace al sitio de ubicación de dichas rampas.

Figura 16. Concepto del diseño a desarrollar



5. DIMENSIONES DEL REMOLQUE DE ACUERDO A CADA MONOPLAZA

Debido a la gran participación y al éxito que ha presentado la FORMULA SENA en sus distintos eventos, han dado como resultado que el CIMI tenga fabricados 3 monoplazas al interior de su centro de formación; un simulador, un monoplaza que tiene un motor de combustión interna, y un monoplaza eléctrico; cada uno de ellos con participación en el diseño de distintas partes y en algunos caso de la carrocería por estudiante de la Universidad industrial de Santander de Ingeniería Mecánica.

Figura 17. Monoplazas SENA



Fuente: Instructor SENA. Luis David Flórez Melgarejo

5.1. MONOPLAZA SIMULADOR

El primero en la imagen, Es el primer vehículo de competencia que se construyó en el CIMI con aportes de estudiantes de la escuela de ingeniería mecánica pero en su interior no tiene ningún tipo de componentes mecánicos, a cambio de esto fueron adaptados unos pedales al igual que un volante de juego de video para simular una competencia en pista por medio de un computador y una pantalla LDC.

Figura 18. Monoplaza Simulador



Fuente: Instructor SENA. Luis David Flórez Melgarejo

En el simulador se puede disfrutar de una experiencia de manejo casi real gracias al juego trac manía que tiene incorporadas pistas reales de fórmula 1 como el gran premio de Malasia, gran premio de Mónaco y el gran premio de Brasil.

- Longitud máxima: 4300 mm
- Altura máxima (sin televisor): 1110 mm
- Ancho máximo: 1800 mm
- Peso máximo: 300 Kg
- Batalla: 2725 mm

5.2. MONOPLAZA DE GASOLINA

Monoplaza insignia del CIMI ya que con este fue que lograron su primer gran éxito en la formula SENA que es la competencia para este tipo de vehículos organizada por el Servicio Nacional de Aprendizaje. Él monoplaza que se aprecia en la figura 19 fue un rediseño de dicho vehículo con el que se logra una mayor velocidad en punta y su diseño aerodinámico lo hace más estable de tal forma se logra una conducción más fácil y cómoda para el piloto.

Figura 19. Monoplaza gasolina



Fuente: Instructor SENA. Luis David Flórez Melgarejo

Además de la competencia que se realizó en el 2011 que fue para lo cual fue construido, este monoplaza ha tenido que ser transportado a distintas exposiciones y eventos nacionales como lo son: la feria internacional de Bogotá, Word skills, feria del automóvil y muchas participaciones a eventos regionales.

- Longitud máxima: 4160 mm
- Altura máxima: 970 mm

- Ancho máximo: 1830 mm
- Peso máximo: 507 Kg
- Batalla: 2480 mm

5.3. MONOPLAZA ELÉCTRICO

Su carrocería es poco más corta que el monoplaza de gasolina pero presenta un pequeño aumento en su peso, para lo cual el equipo FORSSA está trabajando para que llegue a ser igual al de su predecesor ya que el chasis aerodinámico es el mismo y les ha dado buenos resultados; con este monoplaza fue creada la formula SENA eco; que fue la primer competencia en el mundo en presenciar vehículos eléctricos en competencia. Además Este monoplaza presenta una innovación debido a que se tiene un monoshock en su suspensión delantera diseñado por un estudiante de ingeniería mecánica que además de reducir considerablemente el peso del vehículo, también se logra una mejor amortiguación en pista.

Figura 20. Monoplaza eléctrico



Fuente: Instructor SENA. Luis David Flórez Melgarejo

Otra innovación es la caja de cambios que presenta este monoplaza diseñada por estudiantes de ingeniería mecánica de la universidad industrial de Santander.

- Longitud máxima: 4050 mm
- Altura máxima (con difusor): 1060 mm
- Ancho máximo: 1850 mm
- Peso máximo: 514 Kg
- Batalla: 2400 mm

Para el dimensionamiento del remolque, es necesario tomar las mayores medidas tomadas y de esta forma se está seguro que cumple para las demás.

Tabla 5. Comparación de dimensiones monoplazas CIMI

	SIMULADOR	GASOLINA	ELECTRICO
LARGO [mm]	4300	4160	4050
ANCHO [mm]	1800	1830	1850
ALTO [mm]	1110	970	1060
PESO [Kg]	300	507	514
BATALLA [mm]	2725	2480	2400

Una vez se tienen las dimensiones máximas de los monoplazas, las comparamos con las dimensiones permitidas por el ministerio de transporte emitidas por la resolución 004100 de 2004 ver Anexo A.

Tabla 6. Resumen designaciones y dimensiones

Designación	Dimensiones		
	Ancho máximo, m	Altura máxima, m	Longitud máxima, m
2	2,60	4,10	12
3,4	2,60	4,10	12,20
2S1, 2S2, 2S3, 3S1, 3S2, 3S3, 2R2, 3R2, 4R2, 2R3, 3R3, 4R3, 4R4, 2B1, 2B2, 2B3, 3B1, 3B2, 3B3, 4B1, 4B2, 4B3	2,60	4,10	18,50
Remolque (R) y remolque balanceado (B)	2,60	4,10	10,00
Semirremolque (S)	2,60	4,10	13,00

Notas:

- 1) La dimensión de la altura máxima se verifica con el vehículo descargado.
- 2) En la longitud máxima del remolque no se incluye la barra de tiro.

Fuente: Norma Técnica Colombiana 4788 [Ver Anexo A]

De acuerdo a la tabla reglamentaria de vehículos y con nuestras dimensiones máximas definidas, podemos tener un estimado de que tan alejados estamos del límite máximo permitido en carretera.

Tabla 7. Comparación dimensional

	DIMENSIONES MAXIMAS [mm]	DIMENSIONES MINIMAS PARA UN MONOPLAZA [mm]
LARGO	10000	4300
ANCHO	2600	1850
ALTO	4100	1110

De acuerdo con esto y para evitar que sea más fácil de transportar se decidió en conjunto con los instructores del CIMI el diseño de un remolque con dos niveles.

5.4. CRITERIO PARA LA SELECCIÓN DE LA PERFILERIA Y TUBERIA

Debido que esta tesis fue desarrollada como medio de aprendizaje para los aprendices del programa trazado, corte, conformado y armado de productos metálicos del centro integral mantenimiento industrial, fue necesario seleccionar sus componentes estructurales de acuerdo a materiales existentes que se tenían en ese momento en el centro educativo.

Dentro de las opciones y combinaciones que se pudieran tener, se tomaron como criterio de selección los siguientes aceros tomando como fundamento para esta selección los siguientes aspectos.

- El remolque no puede ser muy pesado dado que no en todas las ocasiones se va a tener el mismo vehículo tractor
- El primer nivel debe ser más pesado que el segundo para tener su centro de gravedad más bajo.
- El primer nivel deber ser capaz de soportar las deformaciones causadas por los dos monoplazas

- El remolque en todas sus dimensiones al ser aplicada carga estática y luego dinámica, no se debe deformar más que el 4% de la longitud total de la pieza que este siendo sometida a dicha carga.

Teniendo en cuenta la anteriores consideraciones y después de hacer análisis y simulaciones de carga estática con ayuda del software ANSYS workbench, se decidió utilizar las siguientes tuberías y perfiles hechas de acero A36

Tabla 8. Tubería seleccionada

TUBERÍA	DIMENSIONES	ESPESOR
Cuadrada	1"	1/16"
Cuadrada	3"	1/8"
Cuadrada	4"	1/8"
Rectangular	2" x 1-1/16	1/8"
Redonda	1-1/4"	1/4"

Tabla 9. Perfilera seleccionada

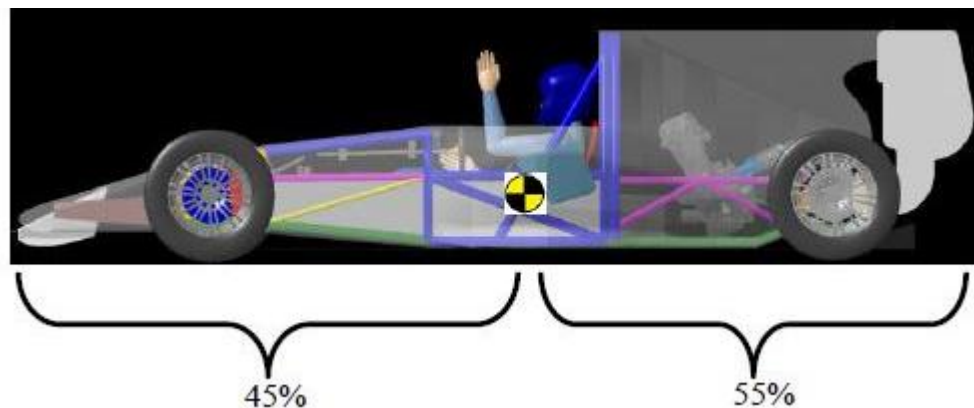
PERFILERÍA	ESPECIFICACIÓN
perfil en C	C 3x5
perfil en L o ángulo	L 1/8" x 1-1/4"
perfil en L o ángulo	L 1/4" x 2"

6. DISEÑO DEL PRIMER NIVEL

Tomando como referencia las dimensiones de los monoplazas y los requerimientos anteriormente mencionados, se empiezan a dar las posibles geometrías para el primer nivel del remolque, acompañadas de sus respectivos diseños en Solid Works y análisis en el work bench de ANSYS, los análisis en una primera medida se hicieron en condiciones estáticas y como segunda medida se trabajó con la idea de transmitir el peso generado por el monoplaza ubicado en el segundo nivel lo más cercano posible a los puntos de apoyo del monoplaza del primer nivel, es decir las ruedas de dicho vehículo, cabe resaltar que no se está teniendo en cuenta el posible peso del segundo nivel dado que su geometría aun es incierta.

Una vez conociendo esas consideraciones procedemos a evaluar el porcentaje del peso total del monoplaza que recibirá cada una de las llantas del monoplaza en base a la siguiente figura de distribución de masa facilitada por los instructores del CIMI.

Figura 21. Centro de masa monoplaza



Fuente: Instructor SENA. Luis David Flórez Melgarejo

6.1. CALCULO DE LA DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS CAUSADAS POR EL PESO DEL MONOPLAZA.

Sabiendo que el monoplaza que tiene mayor masa es el eléctrico con 514 Kg procedemos a hacer cálculos con este valor dado que si garantizamos seguridad para este, obviamente lo tendremos para los otros dados a que presentan menor masa.

$$F = \frac{\text{Masa monoplaza} * \text{Gravedad} * \text{porcentaje de la masa}}{2 \text{ llantas} * \# \text{ puntos de apoyo}} \quad (1)$$

Ecuación para encontrar la fuerza que se aplica en cada punto de contacto entre el remolque y el monoplaza

Para el monoplaza que está en el primer nivel y aplicando la ecuación (1) se tiene que para las llantas traseras que es donde se tiene un 55% de la masa del vehículo (ver figura 21) además se repartirán las dos ruedas que tienen como apoyo 3 vigas se tiene que:

$$F = \frac{\text{Masa monoplaza} * \text{Gravedad} * \text{porcentaje de la masa}}{2 \text{ llantas traseras} * 2 \text{ vigas de apoyo}}$$
$$F = 693,3 \text{ N}$$

Para la parte delantera de dicho monoplaza tenemos:

$$F = \frac{\text{Masa monoplaza} * \text{Gravedad} * \text{porcentaje de la masa}}{2 \text{ llantas traseras} * 2 \text{ vigas apoyo}}$$
$$F = 567,3 \text{ N}$$

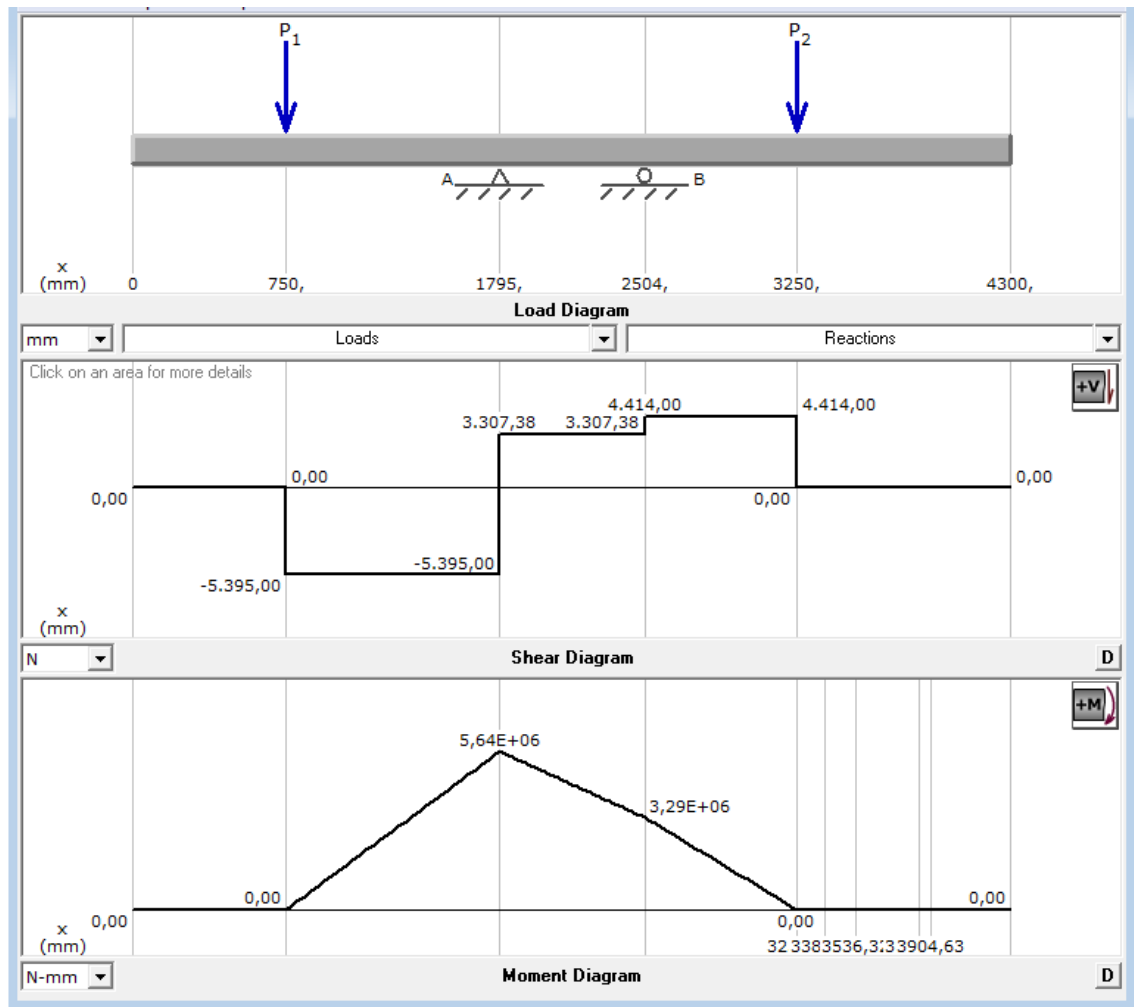
Ahora para las cargas transmitidas del segundo nivel tenemos que

$$F = \frac{\text{Masa monoplaza} * \text{Gravedad} * \text{porcentaje de la masa}}{2 \text{ llantas traseras} * 1 \text{ viga apoyo}}$$
$$F = 1386,6 \text{ N}$$

Para las llantas delanteras se tiene:

$$F = \frac{\text{Masa monoplaza} * \text{Gravedad} * \text{porcentaje de la masa}}{2 \text{ llantas traseras} * 1 \text{ viga apoyo}}$$
$$F = 1134,5 \text{ N}$$

Figura 22. Diagramas de cortante y flector



Tomando dos consideraciones importantes:

- ✓ Minimizar la flexión total del remolque
- ✓ Garantizar estabilidad en la estructura

Atendiendo recomendaciones encontradas en la web: FLEX- Repuestos para elásticos

⁴ “Puede utilizar un remolque sencillo (con un solo eje), si su carga no sobrepasa las 2 toneladas. Si su remolque tiene una longitud de 3.5 metros o su capacidad

⁴ FLEX - Repuestos para elásticos. Consultado el diciembre 12 de 2014. Disponible en: <http://www.flexs.com.ar/tutoriales/?p=558>

de carga es superior a las 2 toneladas, le recomendamos un remolque tipo tándem (doble eje), o tri-eje, por su seguridad.”

Se decidió al hacer simulaciones en conjunto con los instructores del CIMI el uso de dos ejes con su suspensión por ballestas, cada eje estaría directamente anclado a la estructura, creando dos suspensiones independientes.

Es por esto que en la figura 23 existen 8 puntos de apoyo dado a que cada ballesta es unida al chasis por medio de dos puntos, las fuerza aplicadas son calculadas de acuerdo a la ecuación (1) y son aplicadas en los puntos de intersección o nodos entre los tubos, ángulos o perfiles que se lleguen a tener en determinado caso.

Figura 23. Simulación de cargas primer nivel

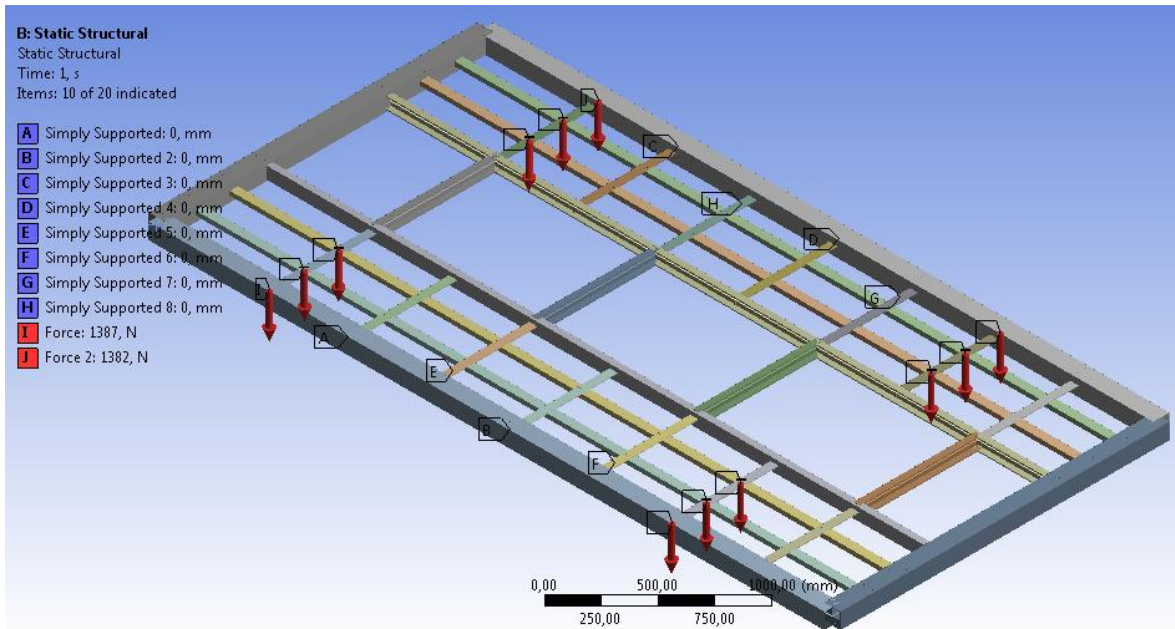
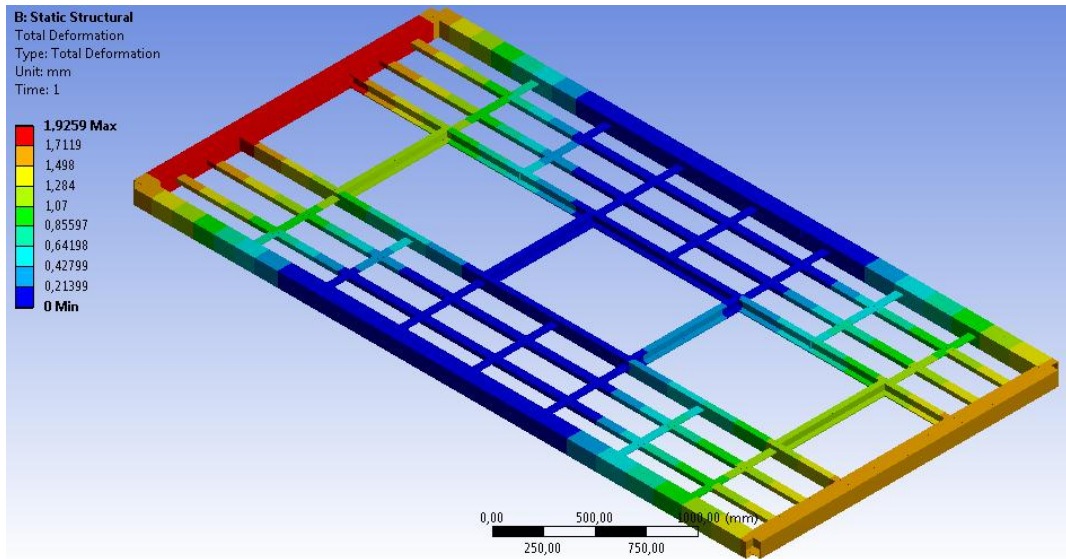


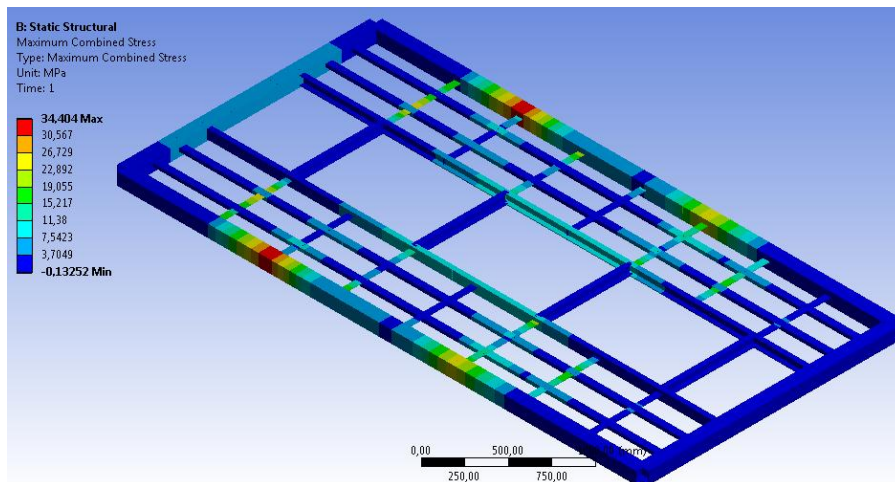
Figura 24. Deformación primer nivel



Deformacion total = 1,9259 mm

Claramente se puede apreciar que la deformación obtenida por medio del software es compatible con el diagrama de momentos visto en la figura 22. De la simulación se tiene un valor de referencia con la deformación que se puede presentar en realidad.

Figura 25. Esfuerzo máximo combinado primer nivel



$\sigma_{max\ combinado} = 34,404\ MPa$

- Los valores obtenidos tanto de deformación total como esfuerzo máximo combinado dan la pauta de una posible geometría para el primer nivel del Remolque. Ahora se calcula el factor de seguridad para dicha situación, tomando como $S_y = 250 [Mpa]$

$$N = \frac{S_y}{\sigma_{max\ combinado}} = 7,26$$

Se puede apreciar que es un factor de seguridad bastante alto, el cual guiara a un diseño conservativo y seguro.

6.2. FORMA DEL CHASIS DE ACUERDO A UBICACIÓN DE LAS RUEDAS

En el mercado se encuentran múltiples formas de chasis para remolques, siendo uno de los criterios para dichos diseños la ubicación de las ruedas, que dependiendo de la aplicación que se quiera realizar. Se puede inclinar y decidir alguna de las dos opciones.

6.2.1. Alternativa # 1: Remolque entre ruedas.

Como se ve en la figura posterior, con esta disposición de los ejes el primer piso del remolque estará más cercano al suelo lo cual nos resulta convenientes debido a que se baja el centro de gravedad y por esto tendremos una mayor estabilidad ya que recordemos que el objetivo de este proyecto es poder transportar dos monoplazas y de acuerdo a las normas de tránsito a las cuales se rige este trabajo de grado, es más conveniente llevar uno sobre el otro, un factor en contra de esta configuración es que el remolque será más ancho y con esto más difícil de transportar.

Figura 26. Chasis con ruedas externas



Fuente: Remolque de dos ejes. Disponible en: <http://ciudadmadrid.olx.es/remolques-economicos-y-reforzados-ii-12535580#>

6.2.2. Alternativa # 2: Remolque sobre ruedas.

Esta configuración ofrece como ventaja que el remolque será más compacto pero con el inconveniente que se tendrá un centro de gravedad más alto y como consecuencia se podría tener problemas de volcadura al momento de tomar curvas dado a la ubicación del centro de gravedad, Ver figura 27.

Figura 27. Ruedas internas



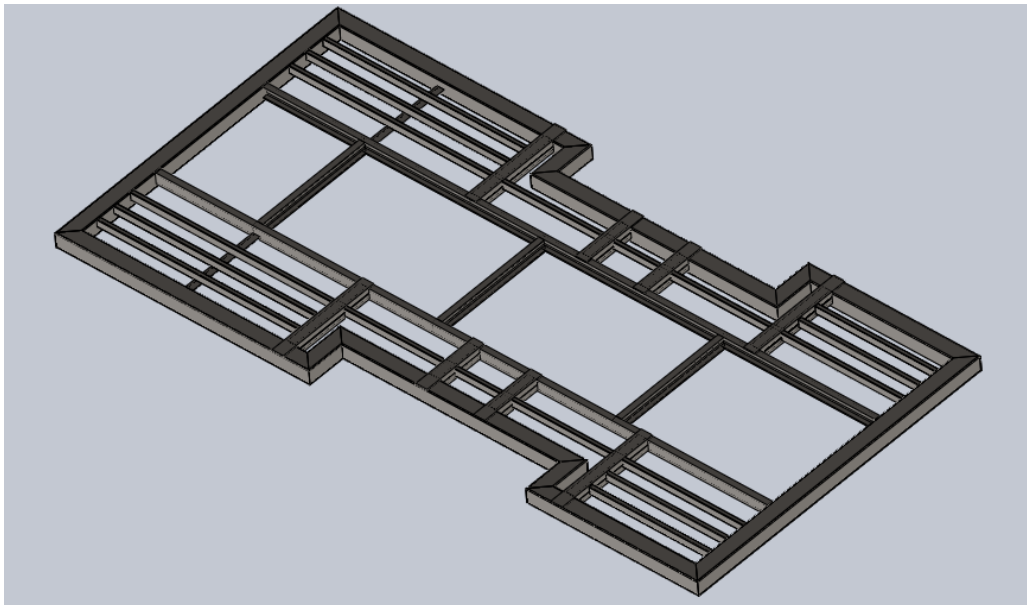
Fuente: remolque de dos ejes,. Disponible en: URL:<http://ritchieg.com/inventario/?a=145&c=3>.

6.2.3. Alternativa # 3: Ruedas intermedias.

De acuerdo a la necesidad de que su centro de gravedad sea bajo y que se requieren puntos de apoyo para soportar el segundo nivel, y gracias a la geometría característica de los monoplazas se diseña un chasis en conjunto con la suspensión en el cual las llantas pueden desplazarse al momento de estar cargado al interior del remolque sin afectar la integridad del monoplaza y por el contrario, se obtiene una mayor carga cerca al suelo.

Tomando las simulaciones anteriormente mostradas en las figura 24 y figura 25 y ubicando las llantas de acuerdo a la alternativa 3, se genera un nuevo diseño reforzando las zonas en las que se obtuvo mayor esfuerzo combinado.

Figura 28. Primer nivel modificado



6.3. NUMERO DE EJES DEL REMOLQUE

De acuerdo a los resultados obtenidos en las Figuras 23 y 24 y corroborando la suposición del uso de 2 ejes, se decide el uso de los mismos para cumplir con los siguientes requerimientos

- La carga máxima a transportar tomando como condición crítica el caso en el que sea necesario transportar el monoplaza de gasolina 507 Kg y el eléctrico 514 Kg tenemos una carga total de más una tonelada.
- La tara del remolque no se tiene clara pero en base a los diseños preliminares del primer piso y asumiendo el peso del segundo nivel 3 veces menor al primero, podemos estimar el peso total de la estructura entre 500 Kg y 600 Kg.
- El transporte de los monoplazas se debe hacer lo más cuidadoso posible, dados que son vehículos de competencia.

Consultando la norma NTC 4788 del 2000 (ver anexo B) Se puede ver que el criterio para el numero de ejes usados en un remolque está restringido por el peso del mismo y su carga, Se opta por poner dos ejes en la suspensión para lograr con esto más estabilidad en línea recta y para corregir el problema de arrastre de las ruedas que puede ocasionar gasto prematuro en las llantas y dificultad para tomar curvas que es posible que se presente por el hecho de que lo ejes son fijos y no ofrecen ningún tipo de dirección, se ubican los ejes lo más cercano posible entre ellos.

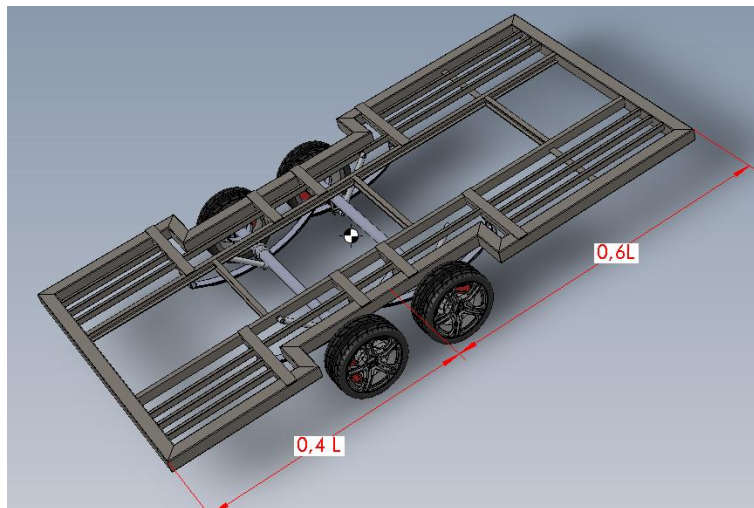
6.3.1. Ubicación de los ejes.⁵

La colocación correcta de los ejes del remolque puede crear diferencia entre un remolque que remolca de forma segura y fácil y un remolque que sea un peligro para todo el mundo en cualquier momento que esté siendo remolcado. Si se coloca demasiado lejos de la parte trasera y el porcentaje del peso de la carga que se lleva a cabo el enganche de remolque es demasiado alto, causará un desgaste anormal en la suspensión del vehículo de remolque y los neumáticos. Si se coloca demasiado cerca el peso del tiro del remolque no será suficiente, lo que hará que el remolque se balancee peligrosamente.

⁵ Consejos de colocación del eje de remolque. Consultado el 20 de enero de 2015. Disponible en: http://www.ehowenespanol.com/consejos-colocacion-del-eje-remolque-manera_54860/

De acuerdo con eso y en vista que la información acerca de este tema es bastante limitada, se investigó en la industria destinada a la fabricación de este tipo de estructuras móviles y se llegó a la misma conclusión soportada por el Ingeniero zaither Rueda quien trabaja en agroindustrias del Fonce “Los ejes deben ubicarse a un 60% de la longitud total midiendo desde la parte delantera del remolque”

Figura 29. Ubicación de los ejes



Tomando la longitud del monoplaza más largo, que es de 4300 mm, tenemos la posible ubicación del centro de los ejes, tomando desde la parte delantera

$$DISTANCIA_{Ejes} = 4300 \text{ mm} * 60\%$$

$$DISTANCIA_{Ejes} = 2580 \text{ mm}$$

7. DISEÑO DEL SEGUNDO NIVEL

Ya teniendo seleccionada la geometría del primer nivel se procede a realizar algunos diseños posibles del segundo nivel usando los materiales más livianos que podamos utilizar realizando análisis mediante el software ANSYS.

El análisis se realiza bajo la situación más crítica en carga estática que podamos presentar y es en el momento en el cual la estructura presente solo apoyos en sus extremos y quede un monoplaza sobre la estructura.

Para la distribución de pesos, se plantea de la misma forma que dada en la ecuación (1)

$$F = \frac{\text{Masa monoplaza} * \text{Gravedad} * \text{porcentaje de la masa}}{2 \text{ llantas traseras} * 2 \text{ vigas apoyo}}$$
$$F = 693,3 \text{ N}$$

Para la parte delantera de dicho monoplaza tenemos:

$$F = \frac{\text{Masa monoplaza} * \text{Gravedad} * \text{porcentaje de la masa}}{2 \text{ llantas traseras} * 2 \text{ vigas apoyo}}$$
$$F = 567,3 \text{ N}$$

En primera medida se presentan los diagramas de cortante y flector como se aprecia en la figura 30 para de esta manera y con ayuda del software computaciones comparar los comportamientos obtenidos en cada uno de estos dos procesos de cálculo.

Ahora se procede a pasar las cargas que encontraron por medio de la ecuación (1) para las condiciones del segundo nivel.

Figura 30. Diagrama de cortante y flector segundo nivel

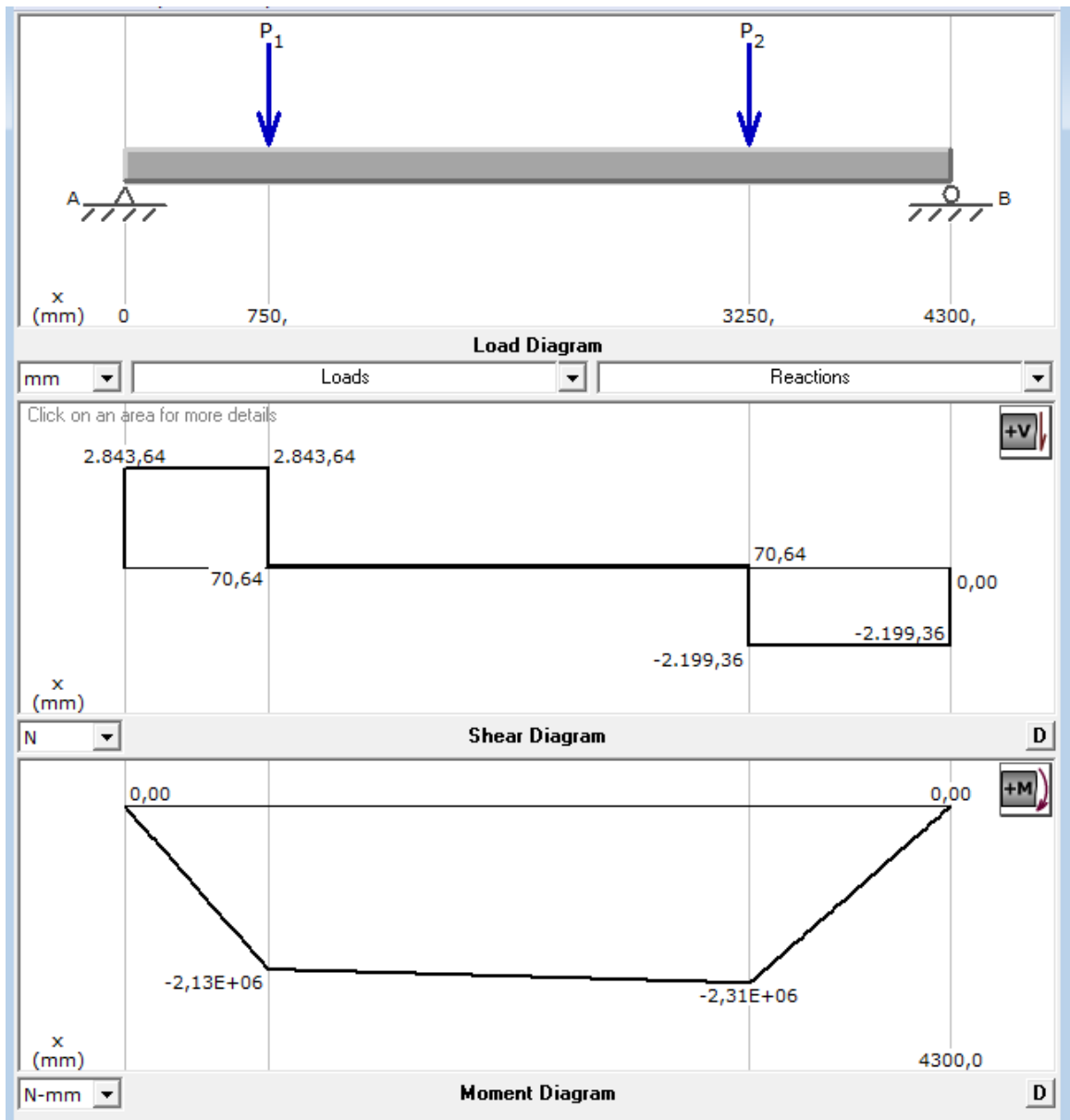


Figura 31. Simulación cargas segundo nivel opción 1

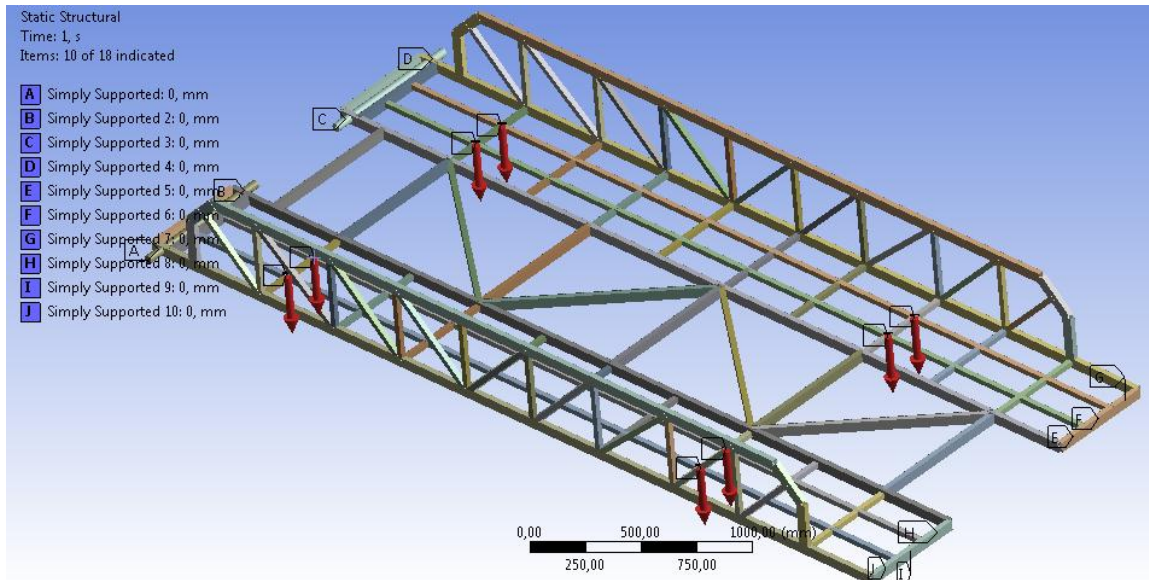
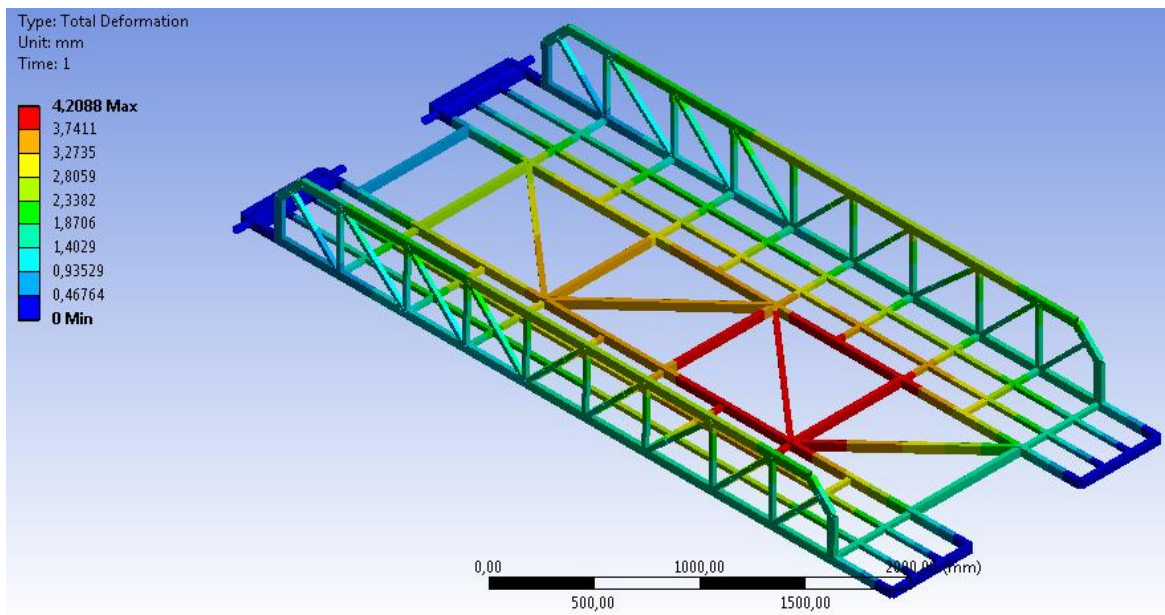
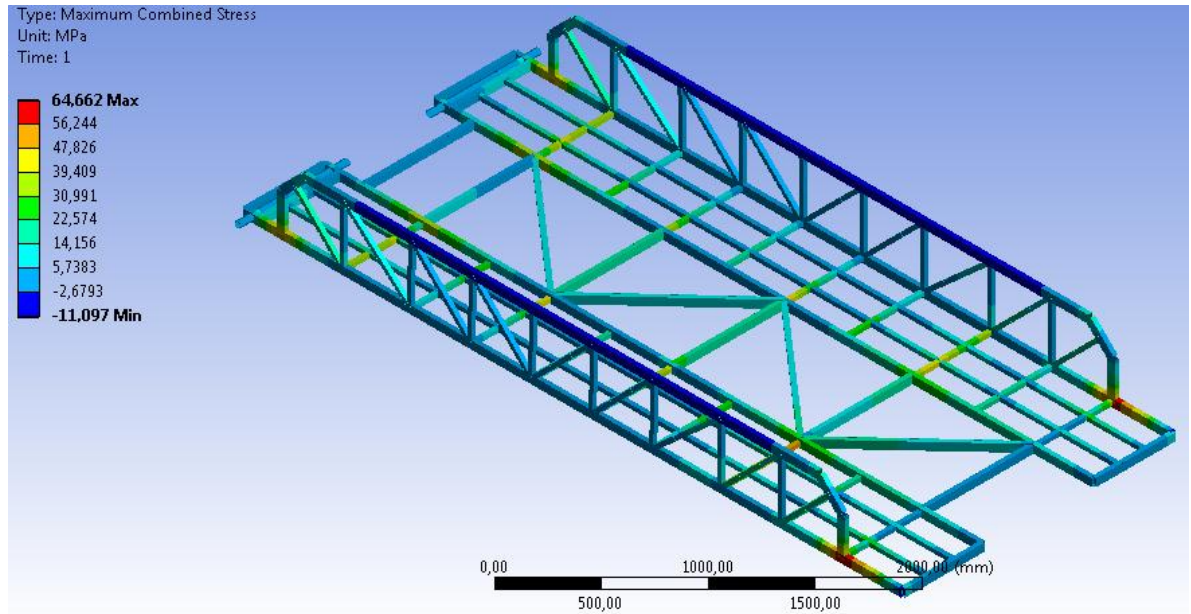


Figura 32. Simulación de la deformación total segundo nivel opción 1



Deformacion Total = 4,2088 mm

Figura 33. Simulación esfuerzo máximo combinado segundo nivel opción 1



$$\sigma_{max\ combinado} = 64,662\ Mpa$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma_{max\ combinado}} = 3,86$$

De la misma forma que se planteó en los casos anteriores, se determina las cargas de acuerdo al número de puntos de apoyo que se tenga para la segunda opción de segundo nivel.

$$F = \frac{Masa\ monoplaza * Gravedad * porcentaje\ de\ la\ masa}{2\ llantas\ traseras * 3\ vigas\ apoyo}$$

$$F = 462,2\ N$$

Para la parte delantera de dicho monoplaza se tiene:

$$F = \frac{Masa\ monoplaza * Gravedad * porcentaje\ de\ la\ masa}{2\ llantas\ traseras * 3\ vigas\ apoyo}$$

$$F = 378,2\ N$$

Figura 34. Simulación cargas segundo nivel opción 2

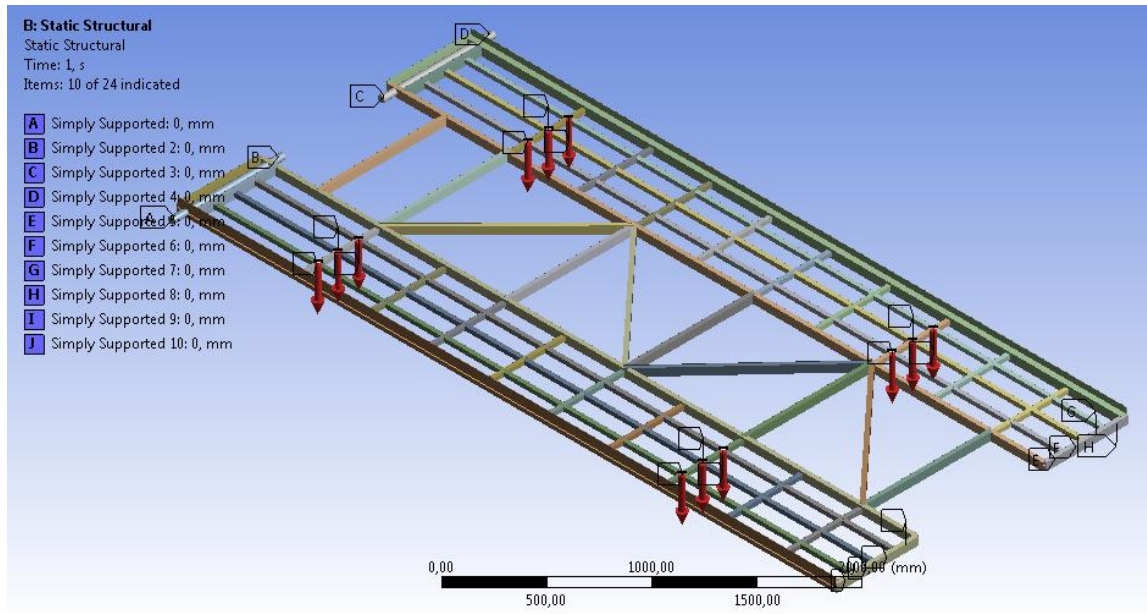
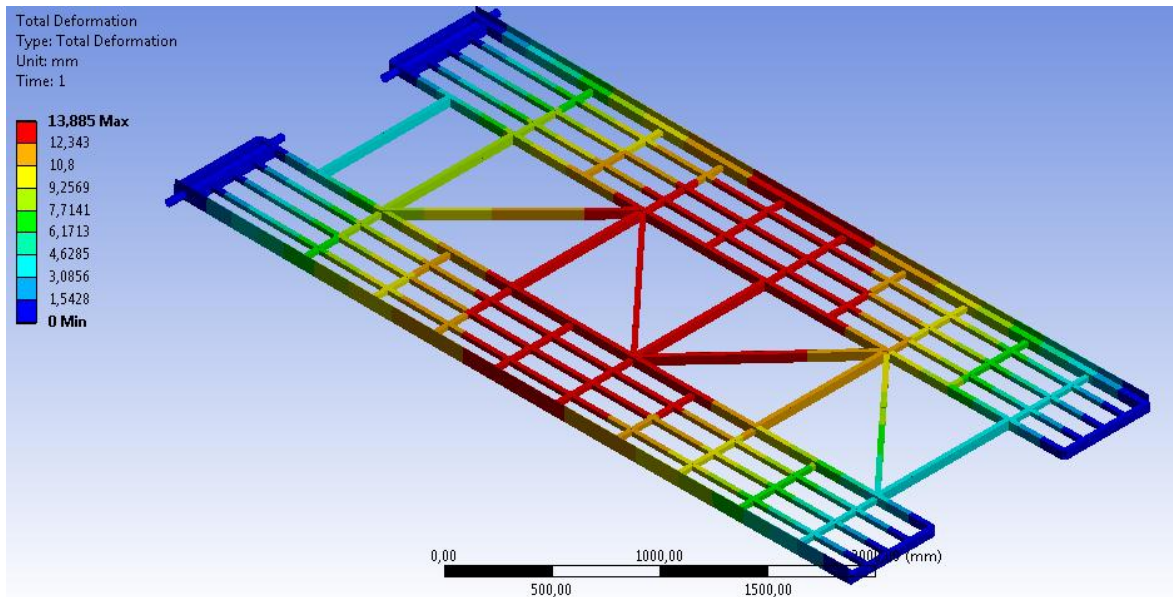
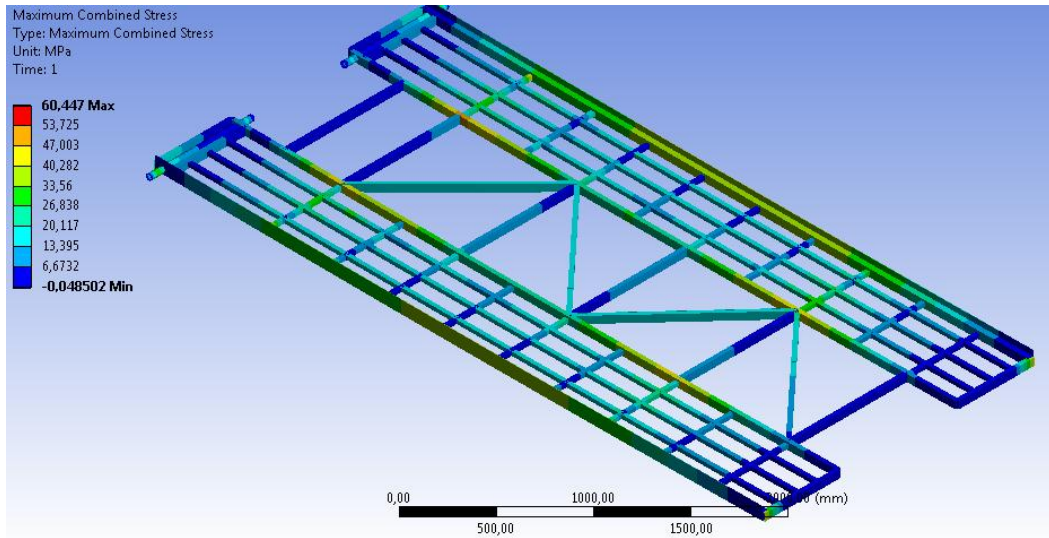


Figura 35. Simulación deformación total segundo nivel opción 2



Deformacion total = 13,885mm

Figura 36. Simulación esfuerzo máximo combinado segundo nivel opción 2



$$\sigma_{max\ combinado} = 60,447\ Mpa$$

$$N = \frac{S_y}{\sigma_{max\ combinado}} = 4,23$$

7.1. SELECCIÓN DE LA GEOMETRÍA Y DIMENSIONES DEL SEGUNDO NIVEL

El dimensionamiento de la estructura se hizo en base a las dimensiones críticas antes mencionadas, teniendo en cuenta que a estas se le deben agregar 5 Cm a cada lado de la medida para que el vehículo tenga tolerancia entre las ruedas y las barandas o el ángulo.

La selección de la geometría se realizó en base a los siguientes parámetros

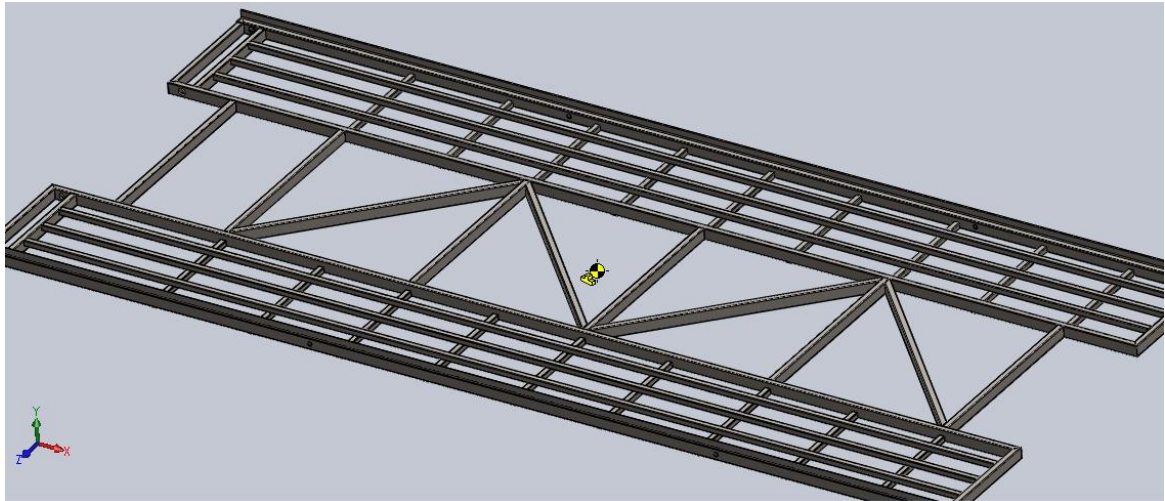
- Deformación máxima total
- Esfuerzo combinado máximo
- Peso de la estructura

Tabla 10. Comparación entre las dos opciones de segundo nivel

OPCION	DEFORMACION MAXIMA TOTAL [mm]	ESFUERZO COMBINADO MAXIMO [Mpa]	PESO [Kg]
1	4,2088	64,662	119
2	13,885	60,447	105

En vista que las dos configuraciones tienen valores parecidos, ninguna supera el valor límite de deformación que pertenece al 4% de la longitud total de la estructura, que sería superar 172 mm se escoge la opción 2 dado la opción 1 es un poco más complicada de construir y más costosa.

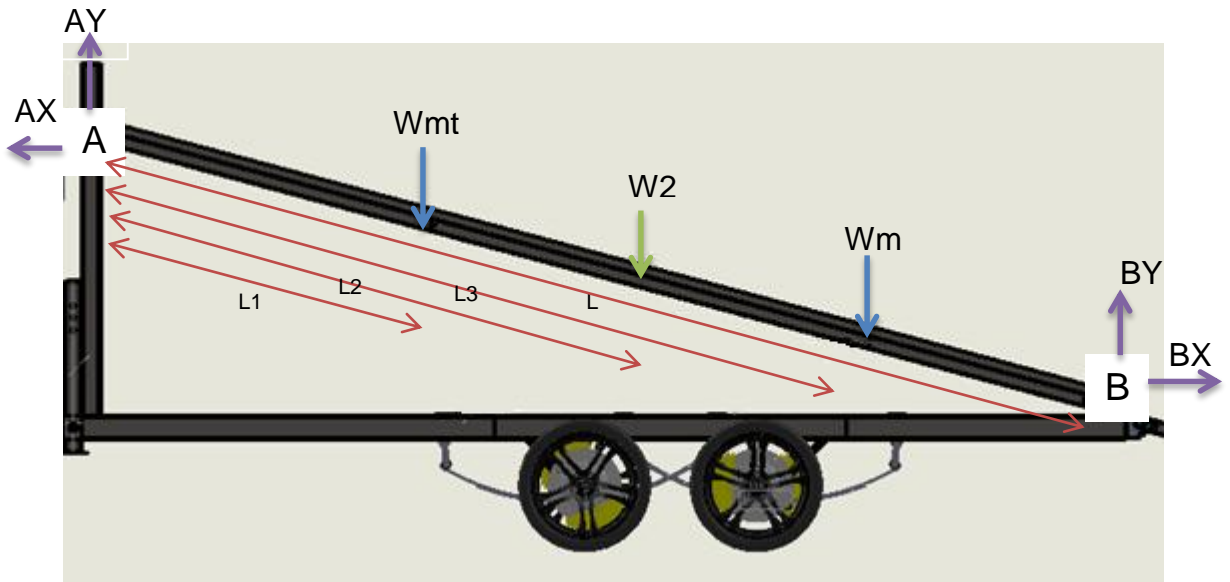
Figura 37. Geometría segundo nivel ganadora



7.2. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA FRONTAL O SOPORTE DELANTERO

Una parte fundamental en este remolque, es el soporte delantero o soporte frontal que es el sitio donde va a pivotar el segundo nivel, se realiza un análisis estático para saber que fuerzas actúan sobre el mismo y su comportamiento al ser afectado por dichas cargas.

Figura 38. Reacción en los apoyos en la posición crítica



Datos de entrada

$wmt = 2773 [N]$ *parte del peso del monoplaza apoyado en la parte trasera*

$wmd = 1024[N]$ *Parte del peso del monoplaza apoyado en la parte delantera*

$w2 = 1030 [N]$ *Peso del segundo nivel*

$L = 4,3[m]$ *Distancia al punto de apoyo B*

$L1 = 0,75[m]$ *Distancia al punto de apoyo de las llantas traseras*

$L2 = 2,19 [m]$ *Distancia al centro de masa del segundo nivel*

$L3 = 3,25 [m]$ *Distancia al punto de apoyo de las llantas delanteras*

$\phi = 15[^\circ]$ *Angulo formando entre el segundo nivel y el primer nivel*

Incognitas

$AX, AY [N]$ *Reacciones en el plano horizontal y vertical del punto de pivote A*

$BX, BY [N]$ *Reacciones en el plano horizontal y vertical del punto de apoyo A*

Ecuaciones

Sumatoria de momentos en el punto de pivote A

$$-L1 * \cos(\phi) * wmt - L2 * \cos(\phi) * w2 - L3 * \cos(\phi) * wmd + L * \cos(\phi) * BY = 0 \quad (2)$$

Sumatoria de fuerzas en el eje vertical

$$BY + AY - wmd - wmt - w2 = 0 \quad (3)$$

Sumatoria de fuerzas en el eje horizontal

$$AX = BX \quad (4)$$

Datos salida

$$BY = 2795 [N] \quad AY = 3278[N]$$

El valor AY es distribuido en 2 perfiles en C 3X5 y 2 tubos cuadrados de 3" para lo cual tenemos un valor de 820 [N] por cada elemento estructural, de la forma como se aprecia en la figura 39.

Figura 39. Cargas en la estructura frontal

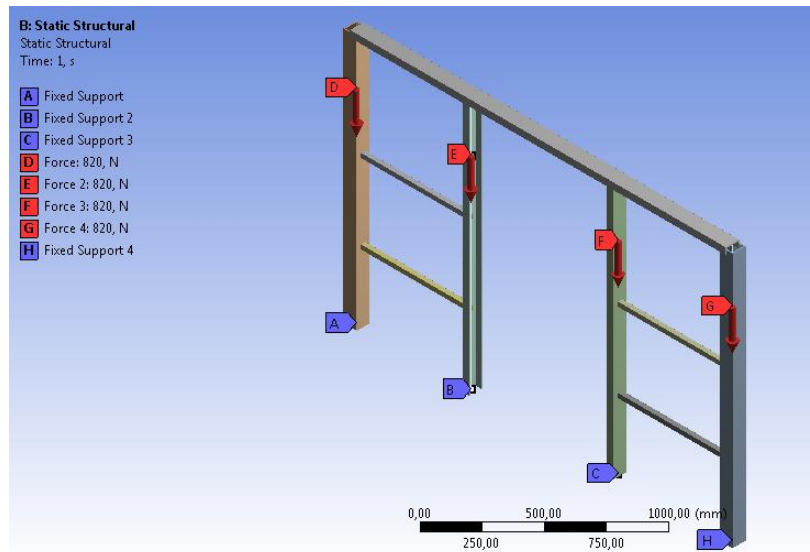
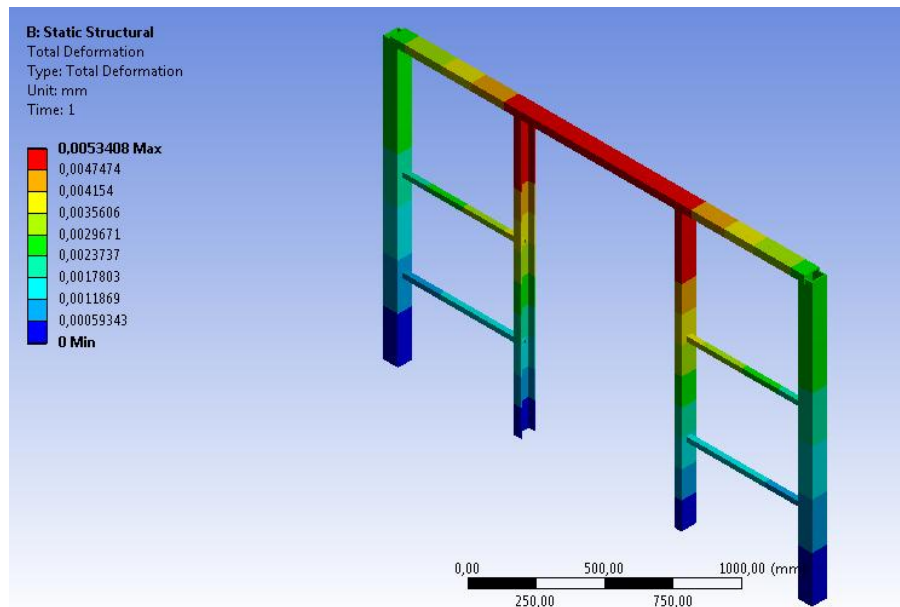
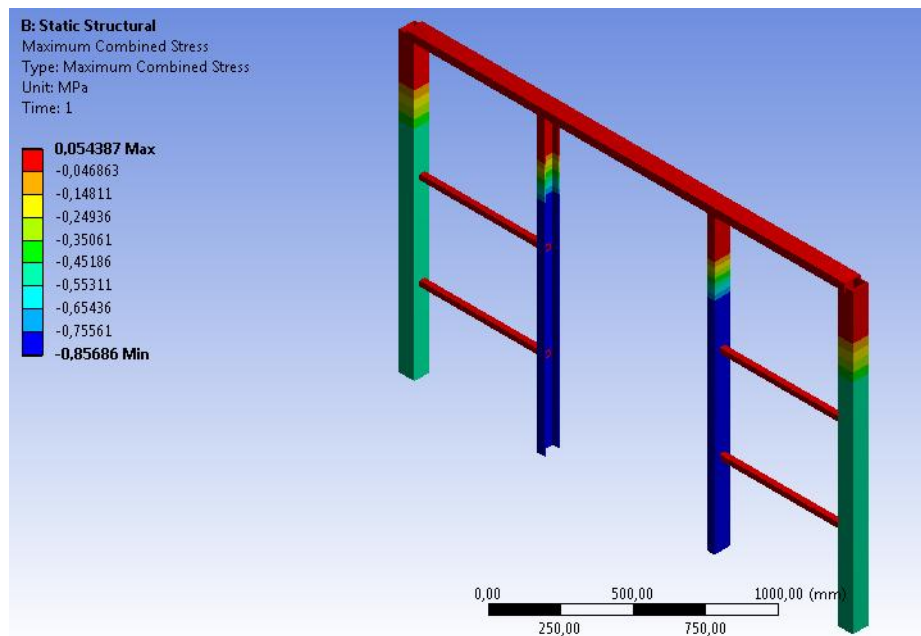


Figura 40. Deformación causada por la carga en la estructura frontal



Deformacion total = 0,0053 mm

Figura 41. Esfuerzo máximo generado en la estructura frontal



$\sigma_{max\ combinado} = 0,054387\ MPa$

Como se puede apreciar, el análisis por medio del software indica que esta carga es muy baja para generar deformaciones apreciables a simple vista o deformaciones considerables.

Esta estructura está conformada por 4 tubos de 1" los cuales además de dar rigidez a la estructura, sirven de escalera para subir a sujetar el monoplaza que se encuentre en esta posición, a continuación se realizara la simulación de carga bajo el supuesto de que dos personas de 100 Kg se encuentren sobre mencionados tubos.

Figura 42. Carga de 100 Kg en los tubos de soporte de la estructura frontal

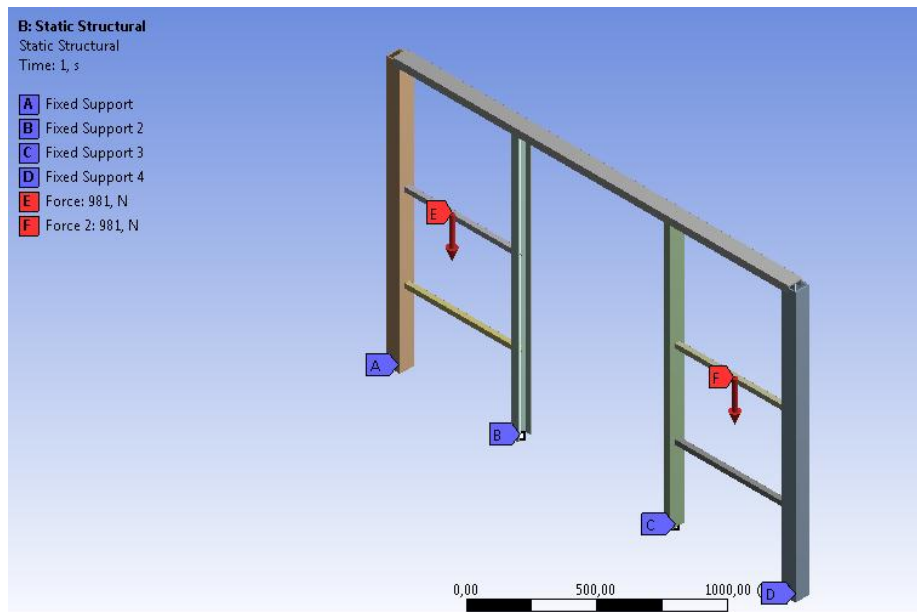
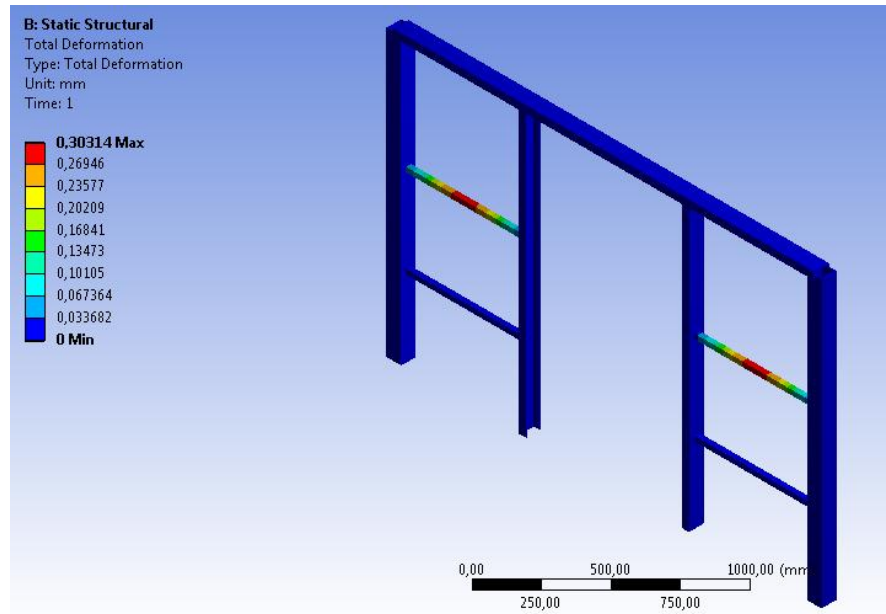
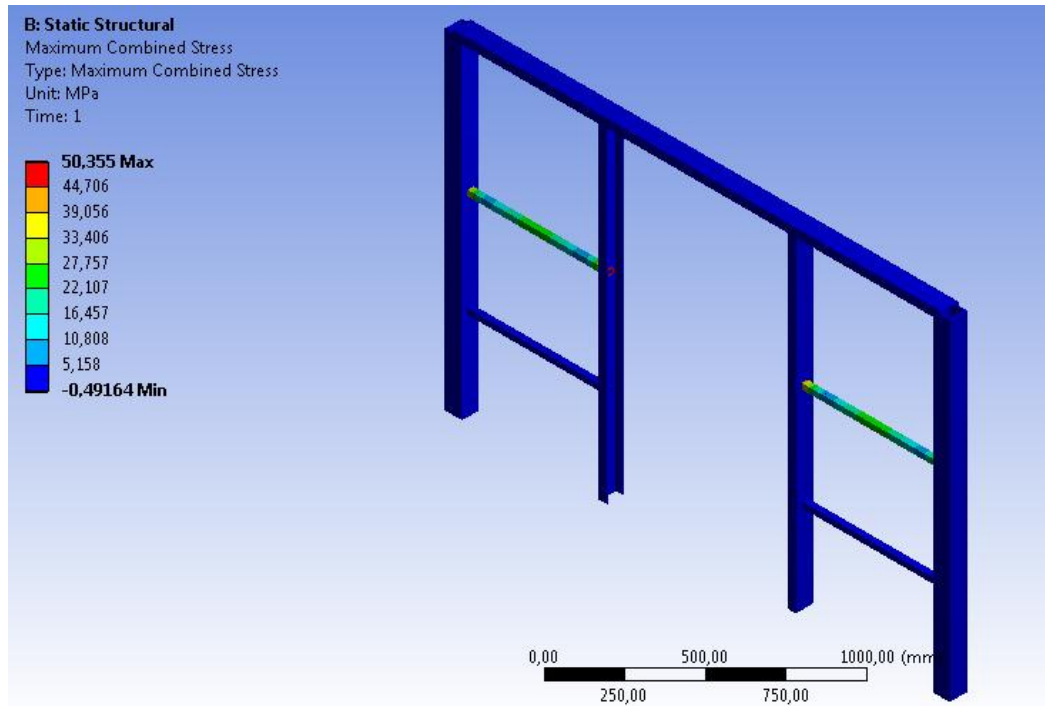


Figura 43. Deformación causada por las cargas de 100 Kg



Deformacion total = 0,30314 mm

Figura 44. Esfuerzo causado a dos cargas de 100 Kg en la estructura frontal

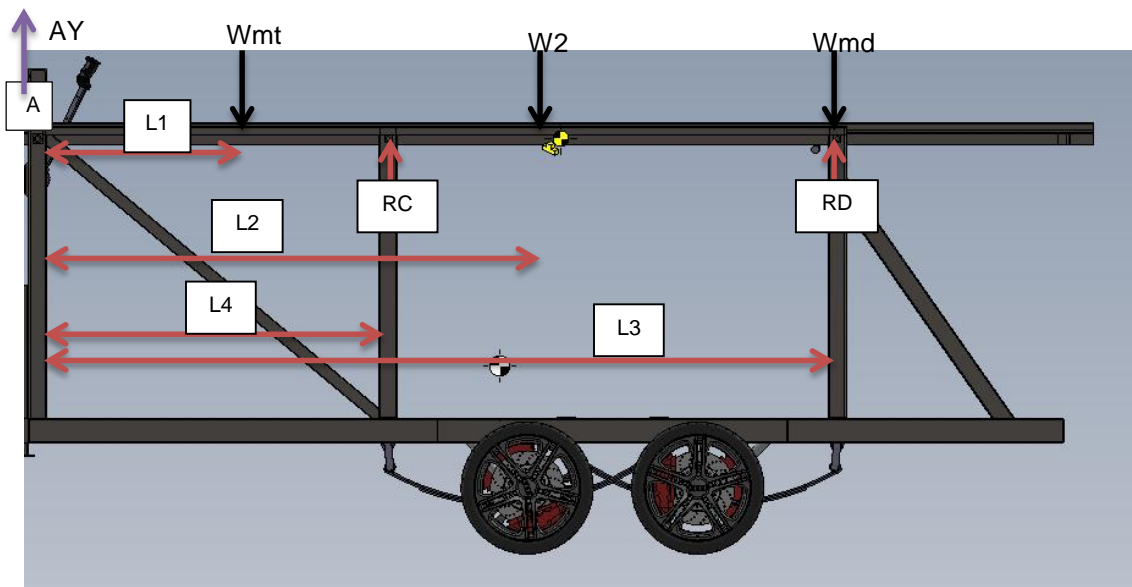


$\sigma_{max\ combinado} = 50,355\ MPa$

7.3. DISEÑO DE COLUMNAS DE APOYO PARA EL SEGUNDO NIVEL

En el momento en el que se tiene el monoplaza que está en el segundo nivel en posición es necesario asegurar el segundo nivel para continuar con el montaje del siguiente monoplaza, a continuación se presenta el esquema de la situación planteada anteriormente

Figura 45. Reacciones en las columnas de apoyo



Datos de entrada

$wmt = 2773 [N]$ Parte del peso del monoplaza apoyado en la parte trasera

$wmd = 1024 [N]$ Parte del peso del monoplaza apoyado en la parte delantera

$w2 = 1030 [N]$ Peso del segundo nivel

$L1 = 0,75 [m]$ Distancia al punto de apoyo de las llantas traseras

$L2 = 2,19 [m]$ Distancia al centro de masa del segundo nivel

$L3 = 3,25 [m]$ Distancia al punto de apoyo de las llantas delanteras y a RD

$L4 = 1,45 [m]$ Distancia al punto de apoyo RC

Incognitas

RC, RD [N] Reacciones de las columnas cargadas

Ecuaciones

Sumatoria de momentos en el punto de pivote A

$$-L1 * wmt - L2 * w2 - L3 * wmd + L3 * RD + L4 * RC = 0 \quad (5)$$

Sumatoria de fuerzas en el eje vertical

$$RC + RD - wmd - wmt - w2 = 0 \quad (6)$$

Datos salida

$$RC = 1805[N] \quad RD = 2116 [N]$$

Para verificar si los elementos estructurales que se van a usar como columnas sirven y no estemos en condición de pandeo, se evaluar sus características mediante la ecuación de Euler, finalmente se escoge la más cargada.

Datos de entrada

$E_{acero} = 2 * 10^5 Mpa$ *Modulo de elasticidad del acero*

$I_{tubo} = 120,16 [Cm^4]$ *Momento de inercia del tubo*

$Le = 0,5 * (1,25) = 0,625 [m]$ *Longitud efectiva de la columna. Ver figura 46*

Incognita

$P_{critica} [N]$ *carga critica para la columna*

Ecuación

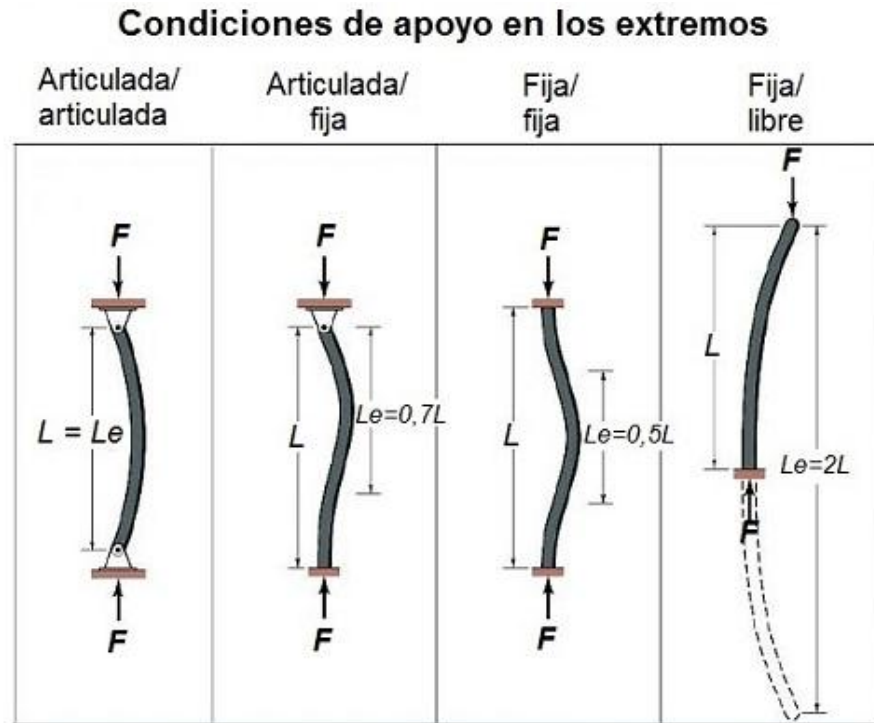
$$P_{critica} = \frac{\pi^2 E_{acero} I_{Tubo}}{Le^2} \quad (7) \quad \text{Ecuacion de Euler para columnas}$$

Dato de salida

$$P_{critica} = 1932 [KN]$$

Para la necesidad del peso a levantar está sobredimensionada pero se usa para corregir de cierto modo la excentricidad que se presenta en la carga.

Figura 46. Longitud efectiva en columnas



Fuente: Longitud equivalente de pandeo. Disponible en: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>

8. SISTEMA DE ELEVACION

Con la geometría, dimensiones, peso del primer y segundo nivel definidas, se procede a determinar los cilindros hidráulicos necesarios para subir la carga estando en la posición llamada “crítica” figura 47 a la posición de funcionamiento o posición final figura 48.

Figura 47. Posición inicial o crítica

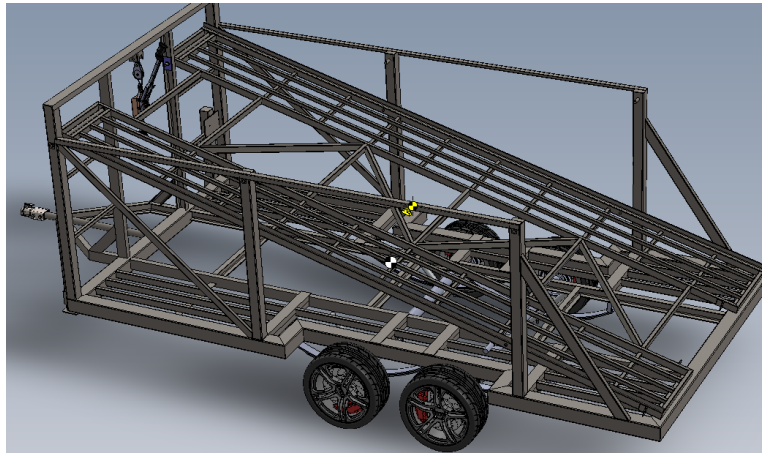
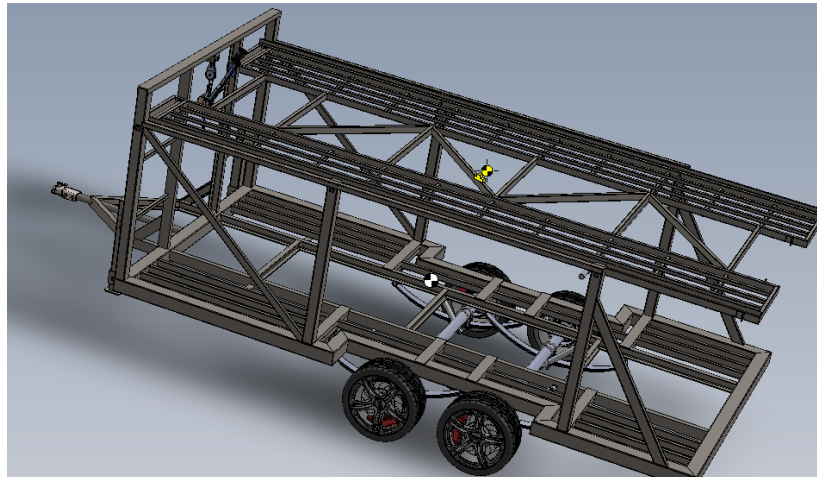


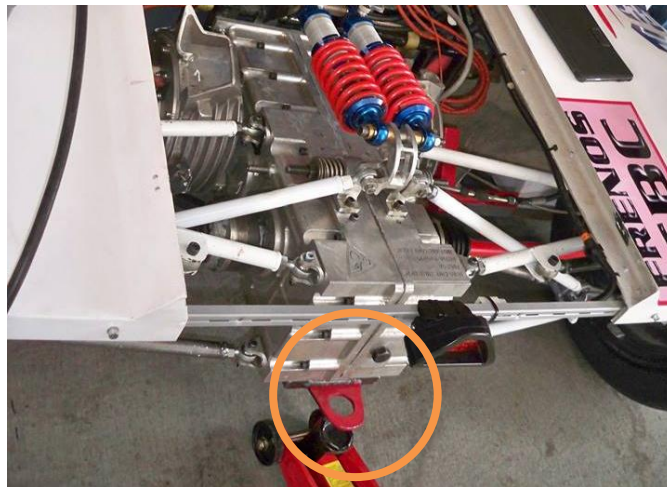
Figura 48. Posición final



Para lograr lo planteado anteriormente, se procede a determinar cuál es la mejor posición para ubicar los cilindros hidráulicos que por simple inspección visual se aprecia que debe ser lo más cercano posible al sitio donde estará ubicada la rueda delantera del monoplaza para contra restar la carga que nos genera el peso de la parte delantera del monoplaza.

Se debe recordar que los vehículos serán subidos al remolque en reversa gracias a la platina para tiro que deben tener en su parte trasera. (Ver figura 49)

Figura 49. Platina de tiro

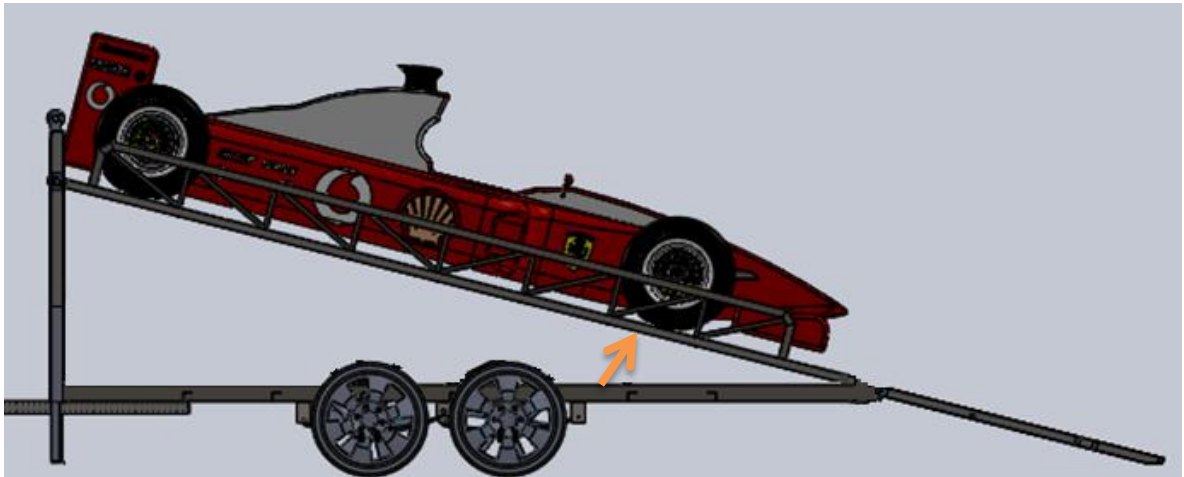


8.1. UBICACIÓN DE PUNTOS DE ANCLAJE DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS.

La ubicación de los cilindros en un punto estratégico, darán un buen punto de partida para poder seleccionar los mejores cilindros hidráulicos para el remolque siendo esto un factor que repercute en el tamaño de los mismo, su peso y por ende el costo que puedan llegar a tener.

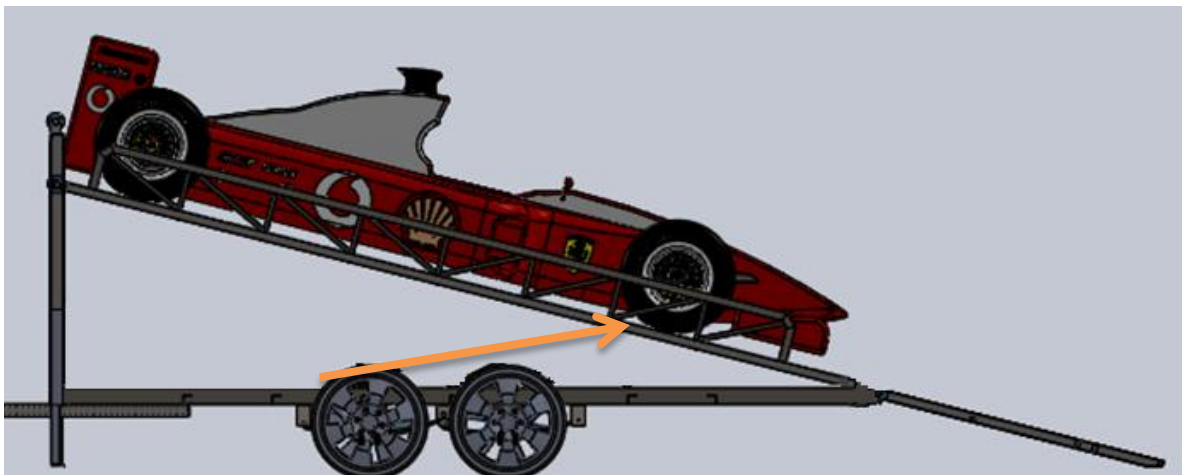
Se empieza por la idea ubicar el cilindro hidraulico de forma vertical bajo la carga de interes que se requiere contrarestar.

Figura 50. Primer sitio de anclaje de los actuadores



Debido a que el recorrido que debe hacer el vástago del cilindro es bastante largo para poder subir, se debe garantizar que dicho cilindro sea lo suficiente largo para permitir esa extensión por tanto, el sitio de anclaje se deberá correr (Ver figura 51)

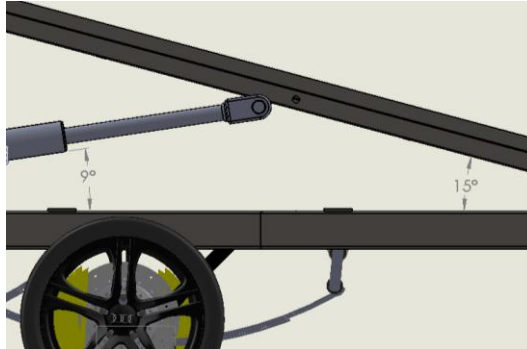
Figura 51. Sitio final de anclaje



De acuerdo a la geometría que se tiene en el primer nivel, el sitio más próximo y que pueda garantizar la extensión necesaria es justamente después de las ruedas.

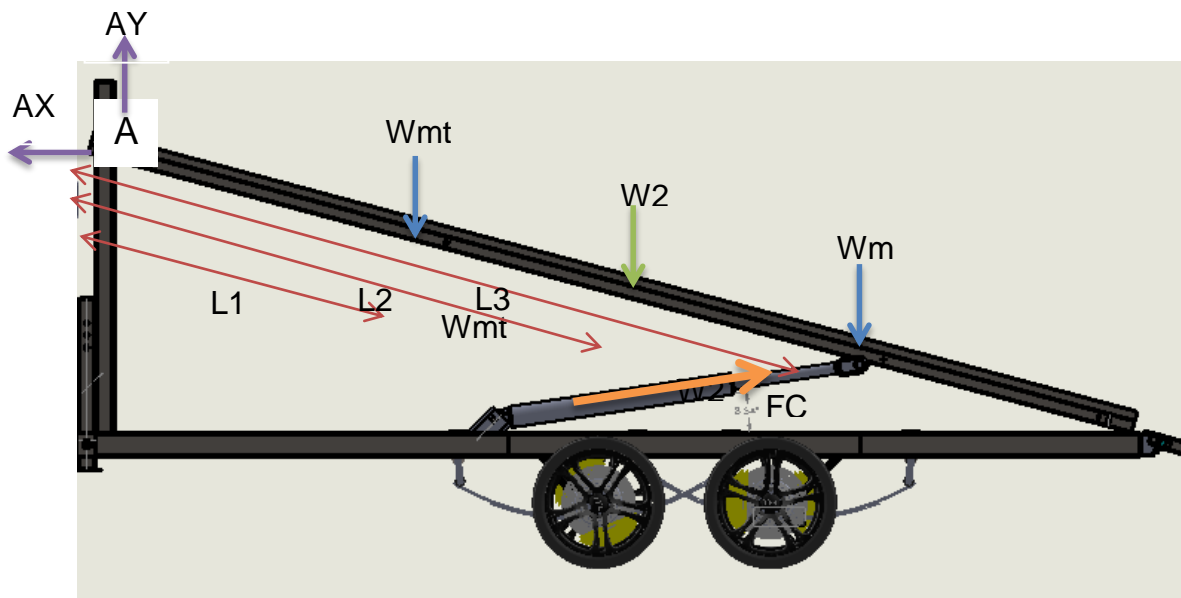
8.2. DETERMINACIÓN DE LAS FUERZAS Y REACCIONES.

Figura 52. Ángulos generados en el momento justo antes del movimiento



Conociendo la inclinación del cilindro y el segundo nivel, se procede a buscar la fuerza necesaria para subir el segundo nivel al igual que la respectiva área de los cilindros hidráulicos, este cálculo se hace en el momento en el que se hace inminente el movimiento es decir, el segundo nivel estará únicamente pivotado y apoyado en A para que el cilindro empiece su recorrido, por lo cual no se tendrá ningún tipo de apoyo en B.

Figura 53. DCL del segundo nivel



Datos de entrada

$wmt = 2773 [N]$ *parte del peso del monoplaza apoyado en la parte trasera*
 $wmd = 1024[N]$ *Parte del peso del monoplaza apoyado en la parte delantera*
 $w2 = 1030 [N]$ *Peso del segundo nivel*
 $L1 = 0,75[m]$ *Distancia al punto de apoyo de las llantas traseras*
 $L2 = 2,19 [m]$ *Distancia al centro de masa del segundo nivel*
 $L3 = 3,25 [m]$ *Distancia al punto de apoyo de las llantas delanteras*
 $\emptyset = 15[^\circ]$ *Angulo formando entre el segundo nivel y el primer nivel*
 $\beta = 9[^\circ]$ *Angulo formado por el cilindro con respecto a la horizontal*

Incognitas

$FCS[N]$ *Fuerza total necesaria para subir el conjunto segundo nivel – monoplaza*
 $AX, AY [N]$ *Reacciones en el plano horizontal y vertical del punto de apoyo A*

Ecuaciones

Sumatoria de momentos en el punto de pivote A

$$-L1 * \cos(\emptyset) * wmt - L2 * \cos(\emptyset) * w2 - L3 * \cos(\emptyset) * wmd + L3 * \cos(\emptyset) * FCS * \sin(\beta) + L3 * \sen(\emptyset) * FCS * \cos(\beta) = 0 \quad (8)$$

Sumatoria de fuerzas en el eje vertical

$$FCS * \sin(\beta) + AY - wmd - wmt - w2 = 0 \quad (9)$$

Sumatoria de fuerzas en el eje horizontal

$$AX = FCS * \cos(\beta) \quad (10)$$

Fuerza por cada cilindro

$$FC = \frac{FCS}{2} \quad (11)$$

Datos salida

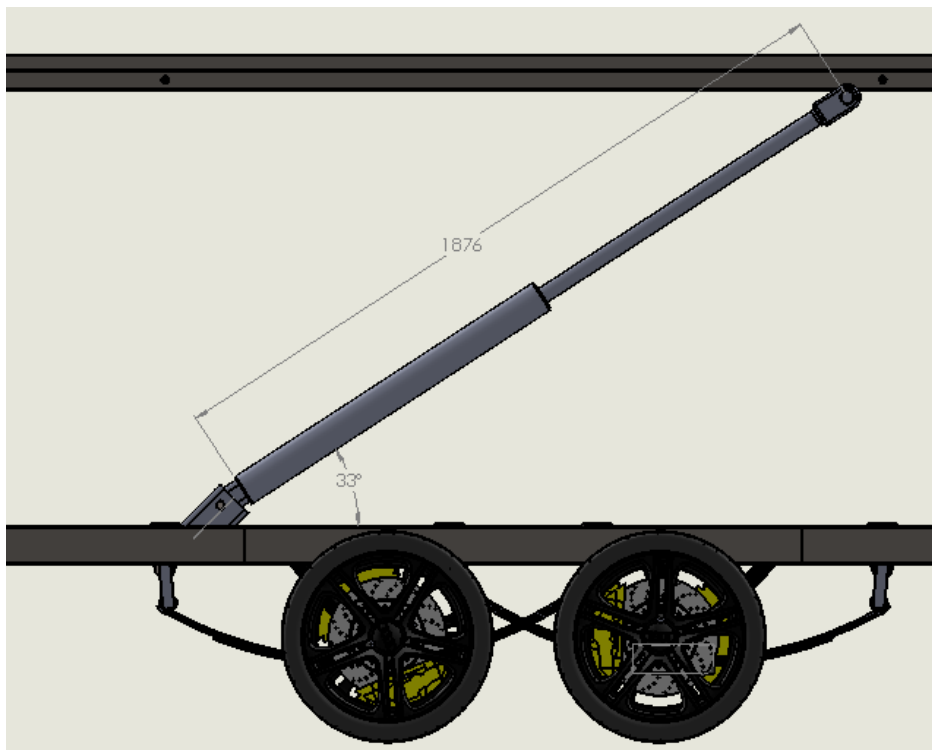
$$AX = 8437 [N] \quad AY = 4736 [N] \quad FCS = 8542 [N] \quad FC = 4271 [N]$$

8.3. DIMENSIONES DEL CILINDRO HIDRÁULICO

8.3.1. Longitud de los cilindros.

Por medio del software solid works se determina la longitud que deberá tener el cilindro hidráulico.

Figura 54. Longitud mínima de los cilindros



El cilindro hidráulico, deberá garantizar una extensión mínima de 1876 mm pero para evitar daños en los sellos, se harán los procesos de cálculos con una extensión total de 2 m.

8.3.2. Diámetro de vástago y diámetro del cilindro

Para hallar el diámetro del vástago se procede a usar la ecuación de Euler de pandeo la cual no contempla muchos aspectos como la excentricidad de la carga, efectos de rozamiento en los apoyos, desgaste en los sellos efectos muy importantes pero que en el desarrollo de este documento no se trataran pero se podrán consultar en el anexo C y se trataran de contemplar tomando un valor de factor de seguridad bastante alto.

$$F_{Euler} = \frac{\pi^2 E_{vast} I_{vast}}{n L e^2} \quad (12) \quad \text{Ecuacion de pandeo de Euler.}$$

Datos

Modulo de elasticidad del material del vástago, es este caso acero

$$E_{vast} = 2 * 10^5 \text{ Mpa}$$

Momento de inercia de la seccion transversal del vástago

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (13)$$

n = Factor de seguridad que depende de la aplicacion de cilindro [entre 2 y 5]

Se usó el valor de 5 dado a los aspectos que no se están contemplando

L_e = L = 2 [m] Longitud equivalente o longitud libre de pandeo. Ver figura 46

Usando la ecuación de Euler, se halla un diámetro de pandeo con el cual se tendrá un criterio para la selección del diámetro permisible y usando el valor de fuerza necesaria para levantar el segundo nivel en conjunto con el monoplaza

$$FC = 4271 [N] = F_{Euler}$$

Para lo cual despejando de la ecuación 10 el diámetro se tiene que:

$$d = 2,716 [Cm]$$

Normalizando el anterior valor

$$d_{vástago} = 1 \frac{1}{4} " = 3,175 [Cm]$$

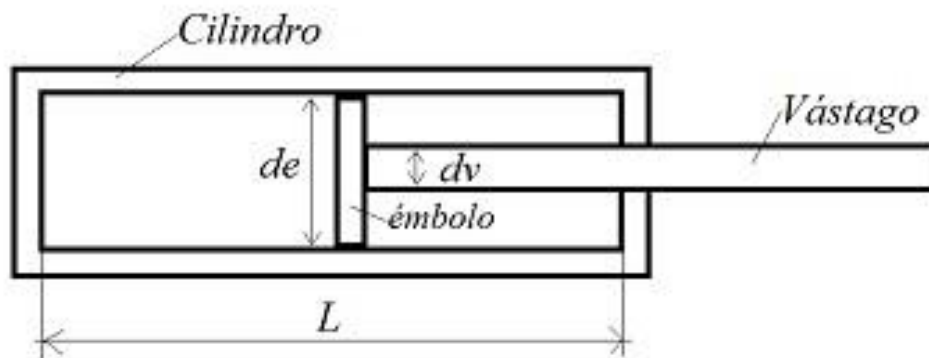
Teniendo el diámetro del vástago, se procede a calcular la totalidad del cilindro hidráulico, se procede a utilizar la configuración recomendada por los fabricantes de este tipo de elementos, la cual sugiere:

$$de = 2dv(14)$$

Por tanto se define:

$$de = \frac{5}{2}'' = 6,35 [Cm]$$

Figura 55. Cilindro hidráulico



Fuente: cilindro hidráulico, [tomada de internet el 30 de noviembre del 2014] disponible en línea URL:
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>

Una vez se tienen definidas las dimensiones del cilindro hidráulico, se procede a determinar sus características de funcionamiento, para lo cual se tiene que:

Datos de entrada

$$de = 63,5 [mm] \text{ *Diametro del émbolo*}$$

$$P = 100 [bar] \text{ *Presion de trabajo del sistema*}$$

Ecuación

$$Fe = \frac{0,785 * de^2 * P}{10^4} \text{ *Fuerza de empuje*} (15)$$

Datos de salida

$$Fe = 31,65 [KN] \text{ *Fuerza de empuje por cada cilindro*}$$

De igual manera, se calcula el valor de la fuerza de retroceso del cilindro, que está dada por la ecuación 16

$$Fr = \frac{0,785 * (de^2 - dv^2) * P}{10^4} \text{ Fuerza retroceso (16)}$$

$$Fr = 23,74[KN] \text{ Fuerzade retroceso por cada cilindro}$$

8.3.3. Caracterización de cada cilindro hidráulico.

Datos de entrada

$$de = 63,5 [mm] \text{ Diametro del émbolo}$$

$$L = 1[m] \text{ Largo del cilindro hidraulico}$$

$$t = 10[s] \text{ Tiempo que demora el cilindro en dar su extensión total}$$

$$N_v = 90[\%] \text{ Eficiencia volumetrica de la bomba}$$

Incognitas

$$V[l] \text{ Volumen de aceite necesario para llenar cada cilindro}$$

$$Vel \left[\frac{m}{s} \right] \text{ Velocidad de avance de cada cilindro hidráulico}$$

$$Q \left[\frac{l}{s} \right] \text{ Caudal para llenar cada cilindro en el tiempo determinado}$$

$$Q_R \left[\frac{l}{s} \right] \text{ Caudal real de llenado para cada cilindro}$$

Ecuaciones

$$V = \frac{\pi * de^2}{4} * L(17)$$

$$Vel = \frac{L}{t}(18)$$

$$Q = \frac{V}{t}(19)$$

$$Q_R = Q * N_v(20)$$

Datos de salida

$$V = 3,2 [l] \quad Vel = 0,1 \left[\frac{m}{s} \right] \quad Q = 0,32 \left[\frac{l}{s} \right] \quad Q_R = 0,288 \left[\frac{l}{s} \right]$$

El volumen del tanque está dado por el volumen necesario para llenar los cilindros para lograr una carrera completa; el cual sería de 6,4L a esto se le suma 5% que será usado en las tuberías y un 80% adicional que será destinado al enfriamiento del aceite una vez sea usado, en la literatura sugieren un valor mayor pero dado que las condiciones de uso no van a causar mucho calentamiento del fluido hidráulico, para lo cual:

$$V_{Tanque} = 12 [L]$$

8.4. CALCULO DEL CIRCUITO HIDRAULICO

Para determinar el circuito hidráulico que acompañara a los cilindros hidráulicos previamente caracterizados, es necesario conocer la velocidad recomendada en tuberías y conductos como se ve en la tabla 11, para la velocidad en el interior de circuito se tomará $5 \frac{m}{s}$ como valor intermedio de los valores recomendados para las líneas de presión.

Tabla 11. Velocidades de flujo recomendadas en conductos y tuberías

Sistema	Unidades SI	Unidades Sistema Británico
Entradas a bombas (líneas de succión)	0,6 a 2,2 m/s	2,0 a 7,0 ft/s
Salidas de bombas (líneas de descarga o de presión)	2,4 a 7,5 m/s	8,0 a 25,0 ft/s
Líneas de retorno	0,6 a 2,6 m/s	2,0 a 8,5 ft/s

Fuente: velocidad recomendada en tuberías. Disponible en: <http://es.slideshare.net/sebastian1973/dinmica-de-los-fluidos-24598547>

De la ecuación 16 tomando el valor de velocidad, se encuentra el diámetro de la tubería.

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} * L(21)$$

Para dichos valores mencionados, encontramos:

$$D = 8,7 [mm] \text{ *Diametro de tuberia*}$$

Normalizando este valor;

$$D = \frac{3}{8} [in] \text{ *Diametro interno de la tuberia*}$$

En vista a que normalizando aumenta menos del 10% se dejan los valores de caudal, velocidad de avance y demás, destinando este valor a pérdidas del sistemas por accesorios y acoples correspondientes a la tubería.

Una vez definidos los parámetros geométricos del circuito hidráulico, se diseña el esquema de mencionado circuito y se evalúa su funcionamiento en el software FESTO FluidSIM el cual arroja resultados muy válidos.

Figura 56. Esquema circuito hidráulico-válvula direccional posición central

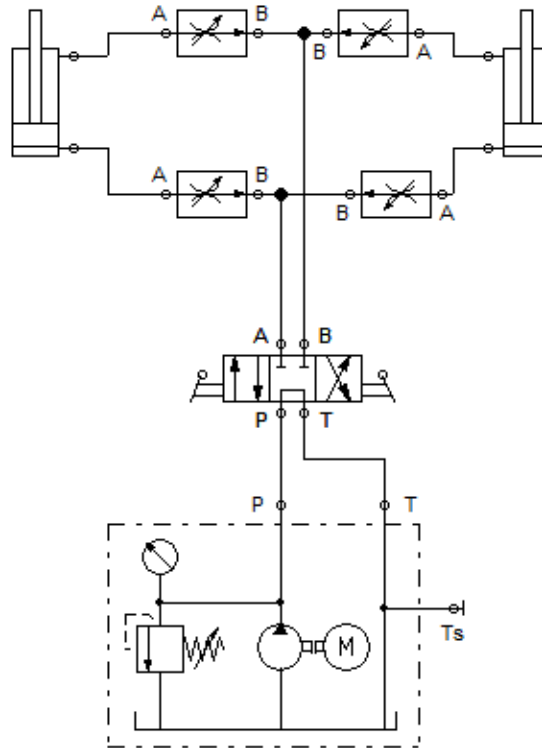
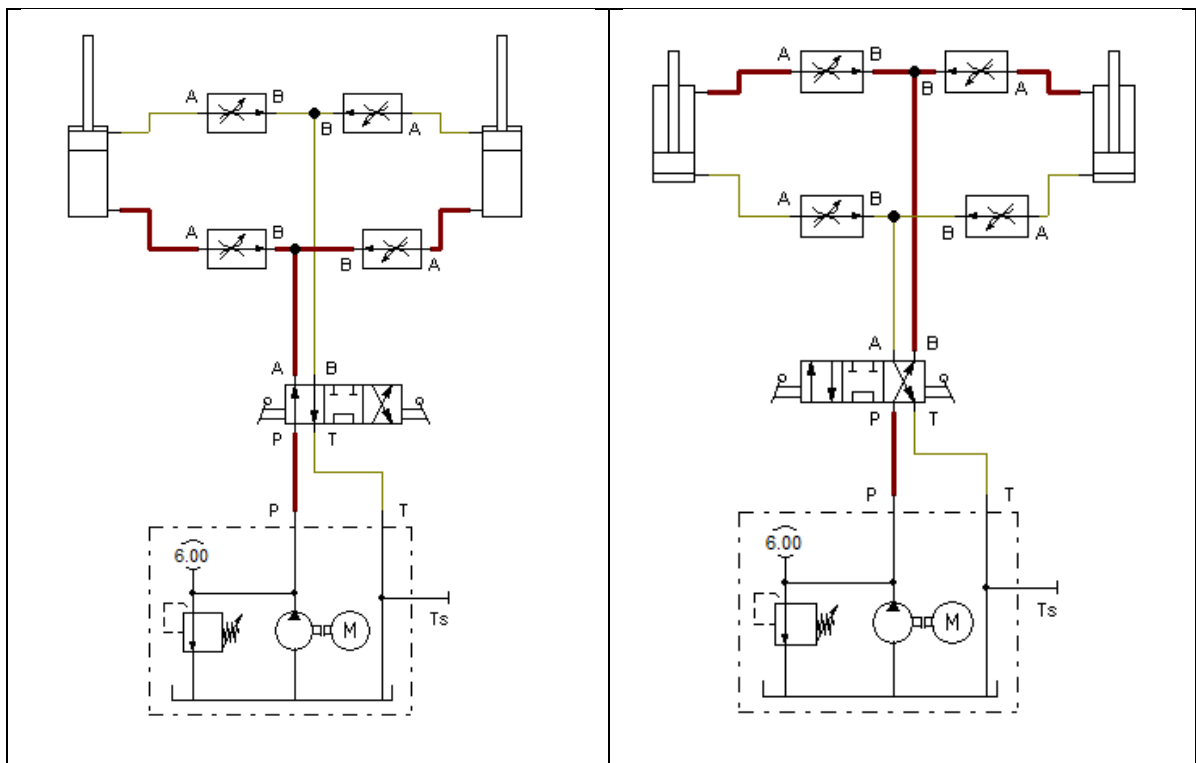
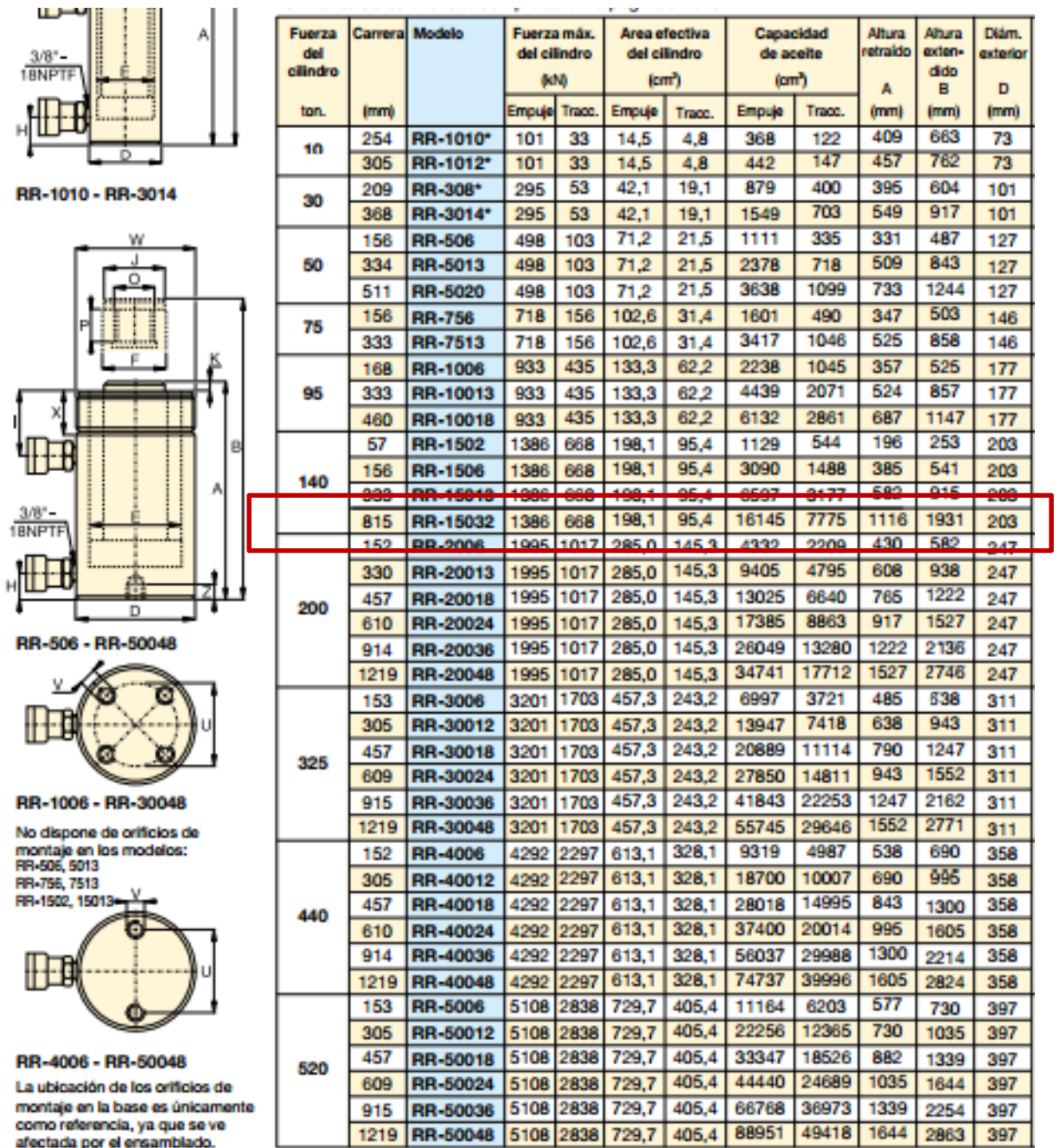


Figura 57. Esquema circuito hidráulico válvula direccional-posición izquierda y derecha



Dado que fabricar un cilindro hidráulico con mencionadas características resulta demasiado costoso, se procede a seleccionar de catálogos el cilindro más adecuado, de acuerdo al requerimiento longitudinal, En la figura 58 se podrá apreciar que el valor de Fuerza de este cilindro es bastante alto para la necesidad que se tiene pero que geoméricamente es uno de los pocos que cumple. Ver catálogo completo [Ver anexo D]

Figura 58. Cilindro hidráulico seleccionado del catálogo Enerpa



Fuente: Cilindros recorrido largo. Disponible en: <http://enerpac.coimar.com/PDF/CilindrosEnerpac.pdf>

9. SISTEMAS DE SEGURIDAD

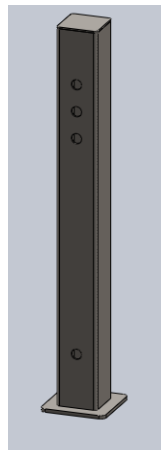
9.1. COLUMNAS PARA ASEGURAR EL SEGUNDO NIVEL

Tal como se dispuso en el capítulo 4.6 fueron instalados tubos de 3" que servirán de columnas de apoyo para el segundo nivel, se había contemplado que estas columnas serían removibles pero por el peso que llegaron a tener 15 [Kg] cada una, resultaría muy peligroso dado a que por condiciones anormales de funcionamiento se llegaran a caer causarían un gran accidente.

9.2. SOPORTES DE ESTABILIZACIÓN

Se diseñaron unas bases con la misma tubería de 3" empleada para asegurar el segundo nivel, que de acuerdo al análisis realizado en dicha tubería, es capaz de soportar una carga superior al peso del remolque con lo cual se puede asegurar que esta aguantara la carga para lo cual fue diseñada.

Figura 59. Soporte estabilización



9.3. LUCES DE AVISO

El remolque cuenta con un sistema de aviso de luces propio, el cual por medio de un conector macho, se acopla al adaptador hembra que se encuentra en el vehículo de arrastre. El sistema de luces contiene:

- Giro derecha e izquierda.
- Luz de posición derecha e izquierda.
- Stop o parada.

Figura 60. Luces de aviso



9.4. FRENOS

El remolque está equipado con un sistema de frenos de inercia en su eje delantero, el cual es accionado por un cilindro maestro hidráulico contenido en el tiro del remolque, dicho cilindro al ser accionado envía el líquido de frenos a cada una de las rueda de tal forma que se logre detener el movimiento, entre más rápido se desplace el remolque, mayor va a ser la inercia a vencer y mayor la potencia de frenado del mismo.

10. FABRICACIÓN

En la totalidad del remolque se utilizó soldadura MIG-MAG en un equipo Fire power con un diámetro de alambre de 1,2 [mm], los gases que se utilizaron como protección fueron una mezcla de argón con dióxido de carbono en una proporción de 80 a 20 respectivamente, en el anexo E se da una explicación más detallada de este proceso de soldadura.

Todos las uniones soldadas fueron unidas con soldadura de sujeción, luego se verificaron datos longitudinales y después de esto si fue aplicada la soldadura de fijación.

El proceso de inicio trazando y cortando toda la tubería correspondiente al primer nivel con tronzadora, debido al tamaño de la tubería, luego de esto se procedió a soldar de manera intercalada los diferentes componentes para no someter la tubería a alta temperatura causada por el mismo proceso y tener cambios geométricos en la misma.

Figura 61. Soldadura primer nivel



Una vez se terminó con el proceso de soldadura del primer nivel, se continuó con el segundo nivel.

Figura 62. Soldadura sujeción segundo nivel



El proceso de soldadura de este nivel completamente, tardo 2 días debido a las Múltiples pegas que se lograron, para este proceso trabajaron turnándose dos Soldadores en intervalos de una hora.

Figura 63. Soldadura fijación segundo nivel



Figura 64. Comparación dimensional de los dos niveles



Una vez terminado el proceso de las partes más grandes del remolque, se procedió a verificar si la soldadura afecto alguno de los niveles, en vista de que dimensionalmente no se produjeron variaciones, se procedió a montar la suspensión al primer nivel; , dicha suspensión corresponde a la misma que utiliza la camioneta Mazda B2600 para la cual, cada paquete de ballestas resiste hasta 2,5 toneladas de carga, para este proceso se tuvo que diseñar y fabricar una pieza dado a la forma en la que va sujeta la suspensión en la camioneta, la pieza que se diseño es la que corresponde a la figura 65.

Figura 65. Soporte ballesta CAD

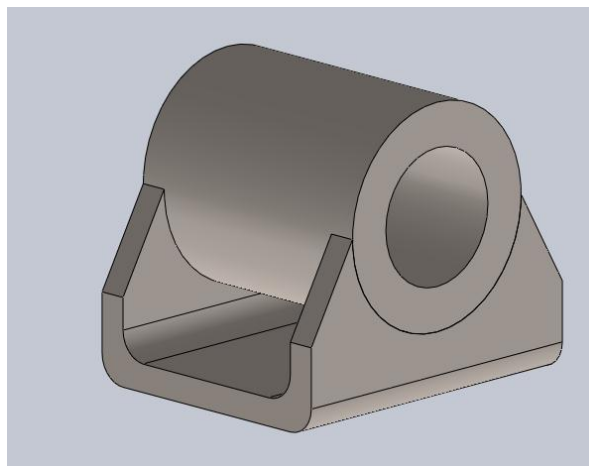


Figura 66. Soporte ballesta



Figura 67. Aprendices Mecatrónica-SENA fijando la suspensión



Figura 68. Ejes sobre la suspensión

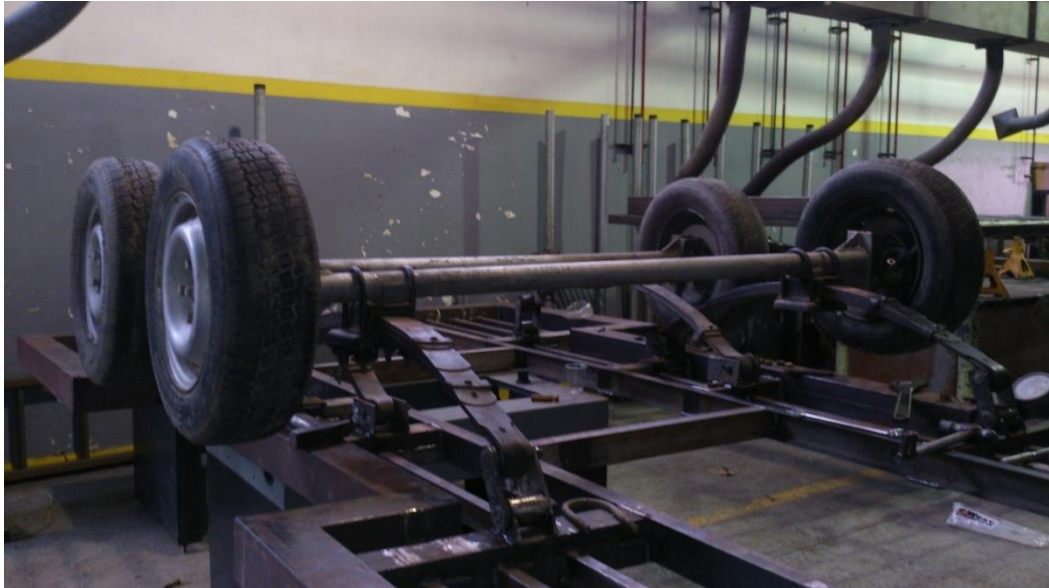


Figura 69. Amortiguador y manguera de frenos



En la figura anterior, se aprecia el amortiguador instalado junto a la ballesta, de la misma forma que están ubicados a la camioneta de la cual hace parte dicha suspensión, también se puede ver la manguera por la cual fluye el líquido de frenos.

Para los ejes, se utilizaron llantas RIN 14 las cuales pueden entrar dentro del remolque y no afectan el monoplaza que se encuentra en ese momento el primer nivel como se aprecia en la figura 70.

Figura 70. Espacio de ingreso de la rueda



Figura 71. Unión primer nivel con frontal



En la figura anterior se aprecia el momento en el que los aprendices realizan la unión del frontal con el primer nivel.

Figura 72. Unión pie de amigo y columnas al remolque



Debido a que la persona encargada de pintar en el CIMI tuvo que ausentarse por un mes, se pintó el remolque en las condiciones que se encontraba y posteriormente se pintó en su totalidad.

Figura 73. Pintado con anticorrosivo



Figura 74. Paralelismo segundo nivel con las rampas



En la figura se aprecia el paralelismo entre el segundo nivel y las rampas de acceso al remolque, las cuales deberán estar a la misma inclinación para que el montaje del monoplaza que va en el segundo nivel sea más sencillo de realizar.

Figura 75. Soldadura base cilindros hidráulicos



En la figura 75 se aprecia la aplicación de soldadura para unir la base de los cilindros hidráulicos con el primer nivel del remolque.

Figura 76. Malacate



En la figura 76 se aprecia el malacate que es utilizado para halar los monoplazas al interior del remolque.

Figura 77. Remolque SENA



Figura 78. Pasador segundo nivel



Figura 79. Pasador base estabilizadora remolque



11. PROTOCOLO DE PRUEBAS

11.1. CARGA ESTÁTICA

Para evaluar este tipo de carga, se dejaron dos monoplazas sobre la estructura durante 1 semana en el taller de automotriz para evaluar diariamente la posible deformación que se hubiera podido presentar en el remolque, para este fin se utilizó un flexómetro marca Stanley, y dichas mediciones fueron realizadas por un aprendiz con el fin de hacer un proceso transparente. Los resultados de las mediciones están disponibles en la tabla 12; Al analizar los datos y ver que no existe una alta dispersión en comparación con el tamaño de la estructura, se continuó a evaluar el remolque bajo carga dinámica.

Figura 80. Aprendiz CIMI midiendo deformaciones del remolque



Un aprendiz de la especialidad de mantenimiento de motores de gasolina y gas fue en encargado de tomar los valores presentes en la tabla 12.

Figura 81. Medición primer y segundo nivel respectivamente



Tabla 12. Distancia de cada nivel al suelo

Día	Distancia primer nivel al nivel al piso [mm]			Distancia segundo nivel al piso [mm]		
	adelante	mitad	atrás	adelante	mitad	atrás
Lunes	487	485	481	1770	1765	1759
Martes	487	485	481	1770	1764	1758
Miercoles	486	485	481	1770	1762	1759
Jueves	485	485	480	1769	1753	1759
Viernes	485	485	481	1769	1762	1760

11.2. CARGA DINÁMICA

La carga dinámica fue evaluada de distintas formas, la primera que es el paso por un hueco para analizar el comportamiento que pudiera presentar la suspensión.

Figura 82. Eje trasero en desnivel



La segunda parte de la evaluación de la carga dinámica fue poner carga extra en las partes más críticas del segundo nivel e iniciar el movimiento, que por motivos de practicidad y con el ofrecimiento del Instructor Néstor Guerrero, se hizo con su propio peso que es de 70 Kg.

Figura 83. Inicio prueba carga dinámica



Para esta prueba además de que el instructor quiso corroborar lo calculado y analizado por medio de programas computacionales, también firmo bajo su propio

juramento conocer el riesgo que para él implicaba estar a una altura superior a 1,5 [m] dado que a partir de esta altura es considerado trabajo en alturas y se debe tener de una línea de vida para hacer cualquier tipo de maniobras.

Figura 84. Cilindros hidráulicos a mitad de recorrido



Figura 85. Carga en posición horizontal sin aseguramientos



Dicha carga adicional, no genero ningún tipo de deformación medible en el segundo nivel del remolque con lo cual ratificamos un buen punto de ubicación de

los cilindros hidráulicos y una buena selección de los materiales y elementos pertenecientes a esta estructura.

11.3. REMOLQUE EN MOVIMIENTO

Figura 86. Remolque en movimiento sobre terreno destapado



El remolque fue probado en caminos destapados en las instalaciones del CIMI en los cuales se podían presentar distintas situaciones e irregularidades en los terrenos para lo cual después de realizar mencionadas pruebas fueron medidos tanto el primero como el segundo nivel para poder descartar algún indicio de falla por flexión en la estructura.

Figura 87. Remolque en movimiento sobre el pavimento



Como última medida se realizaron pruebas de validación en pavimento contando con la presencia del profesor y director del proyecto; Ingeniero Ricardo Jaimes Rolon. Estas pruebas únicamente se pudieron realizar dentro del CIMI, alcanzando con el remolque y la camioneta de arrastre, una velocidad máxima de 40 Km/H.

Hasta la fecha de elaboración de este informe no se había podido llevar a la carretera el remolque dado que a pesar de que este remolque, cumple con las medidas longitudinales y tiene el protocolo de seguridad para poder rodar por la carretera, no se le ha asignado una copia de la placa de la camioneta que servirá para tirar el remolque.

12. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un remolque para el Centro Industrial de Mantenimiento Integral que facilita el transporte de los monoplazas a distintos sitios en los cuales sean requeridos.

El remolque que da soporte a este trabajo de grado, se diseñó conservando las normativas emitidas por el ministerio de transporte y para lo cual en situación de carga total (2 monoplazas) mantendrá las siguientes dimensiones:

- ✓ Largo:5744 [mm]
- ✓ Ancho:2140 [mm]
- ✓ Alto:2600 [mm]

El uso de software especializado para simular y validar diseños es una herramienta fundamental en todos los procesos que se necesiten evaluar dichos diseños.

En muchas ocasiones además de normalizar las dimensiones que tenemos, es necesario tomar lo que se encuentra en el mercado ya que la fabricación exacta de pocas unidades resulta demasiado costosa.

El uso de herramientas manuales como es el caso del malacate, hizo más fácil la subida de los monoplazas al remolque.

En este tipo vehículos como lo son los remolques, al igual que en los automotores destinados para el transporte de carga, se hace indispensable el uso de suspensión por ballestas, en un principio por su facilidad para instalar y en segundo lugar por que resisten grandes cargas.

El desarrollo de este tipo de proyectos como apoyo a las actividades de aprendizaje es de gran beneficio para romper la barrera entre el ambiente académico y el ambiente profesional.

El uso de sistema de sistemas de iluminación y aviso es necesario para este tipo de vehículos ya que las luces de aviso del vehículo tractor queda cubierto por la carga.

El uso de la soldadura MIG-MAG logró disminuir el tiempo del proceso de soldar dado a que no necesita recambio de electrodos ni de pausas durante el proceso.

13. RECOMENDACIONES

No sobrepasar el peso para el cual se diseñó la estructura ya que se pueden ocasionar accidentes y lesiones.

Revisar la presión de las llantas cada vez que se requiera mover el remolque.

Consultar regularmente las normas que rigen el dimensionamiento de este tipo de vehículos en vista de que podemos estar teniendo una falta grave.

No subirse en el segundo nivel de la estructura sin los elementos de seguridad ya que se puede estar propenso a caerse de más de 1,5 [m] de altura.

Subir al remolque únicamente los vehículos para los cuales fue diseñado, dado que cualquier cambio en la carga, puede causar zonas críticas que antes no serán consideradas.

En carretera no sobrepasar los 50 Km/h.

Revisar el nivel de aceite del tanque para evitar que la bomba trabaje en seco, al igual que el líquido de frenos.

No Frenar en “seco” ya que el Volumen que se está remolcando, trae consigo una gran inercia

Respetar las normas de tránsito en carretera y en la ciudad para evitar accidentes debido al gran volumen que se está transportando.

BIBLIOGRAFIA

DUARTE R, Abelardo, VALENCIA J, Jefferth Albeyro. Estudio y Diseño de la Trasmisión y Sistema de Suspensión de un Monoplaza para la formula SENA. Tesis de Grado Ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 2011.

FAIRES, Virgil. Diseño de elementos de máquinas. Limusa, 1998. 802 p. ISBN 968-18-4207-3.

GONZALEZ E, Fabián, PICON J, Luis, diseño de chasis, carrocería y parachoques del monoplaza fso2 formula Sena eco 2012-2013 con análisis estático, dinámico, armónico, aerodinámico e impacto. tesis de grado ingeniería mecánica. Universidad industrial de Santander. Bucaramanga. 2013.

LOTHERS, John. Diseño de estructuras de acero. 1 ed. Compañía Editorial Continental, 1963. 573 p.

MANUAL. PARKER. Manual de oleo Hidráulica Industrial. Biblioteca. Universidad Industrial de Santander

MANUAL. REXROTH. Fundamentos y componentes de la oleo hidráulica, compendio1. Biblioteca. Universidad Industrial de Santander

SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. Diseño en ingeniería mecánica.6 ed. Mc Graw Hill, 2002. 1257 p. ISBN 970-10-3646-8

ANEXOS

ANEXO A. Resolución 004100 de 2004

ANEXO B. Norma Técnica Colombiana 4780 Del 2000

ANEXO C. Pandeo de columnas

ANEXO D. Catalogo Enerpac

ANEXO E. Soldadura MIG MAG

ANEXO F. Planos