



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REMOLQUE MÓVIL CON  
CIRCUITOS NEUMÁTICOS PARA EL TRANSPORTE DE UN  
PESO MÁXIMO DE DOS TONELADAS”.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR: SANTIAGO DAVID PAREDES ANDINO**

**DIRECTOR: Ing. JUAN CARLOS CASTELO VALDIVIESO**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2017**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**2017-11-30**

Yo recomiendo que el proyecto de titulación preparada por:

**SANTIAGO DAVID PAREDES ANDINO**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REMOLQUE MÓVIL CON CIRCUITOS NEUMÁTICOS PARA EL TRANSPORTE DE UN PESO MÁXIMO DE DOS TONELADAS”.**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el  
Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Carlos José Santillán Mariño  
**DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA**

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Juan C. Castelo Valdivieso  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

Ing. Santiago A. López Ortiz.  
**ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** SANTIAGO DAVID PAREDES ANDINO**TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN** "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REMOLQUE MÓVIL CON CIRCUITOS NEUMÁTICOS PARA EL TRANSPORTE DE UN PESO MÁXIMO DE DOS TONELADAS".**Fecha de Examinación:** 2017-11-30**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

<b>COMITÉ DE EXAMINACIÓN</b>	<b>APRUEBA</b>	<b>NO APRUEBA</b>	<b>FIRMA</b>
Ing. Ángel Rigoberto Guamán M. <b>PRESIDENTE TRIB. DEFENSA</b>			
Ing. Juan C. Castelo Valdivieso. <b>DIRECTOR</b>			
Ing. Santiago A. López Ortiz. <b>ASESOR</b>			

**RECOMENDACIONES:**  

---

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Ing. Ángel Rigoberto Guamán M.  
**PRESIDENTE TRIB. DEFENSA**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Santiago Paredes Andino

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a todas aquellas personas que me han brindado su apoyo incondicional y el aliento necesario para culminar con éxito esta responsabilidad, de manera especial a mi padre Eloy Enrique Paredes que, a pesar de la distancia, ha sido el faro que ha iluminado mi camino; y a mi madre Lucía Socorro Andino por su incansable dedicación y constancia.

## **AGRADECIMIENTO**

Hoy quiero agradecerle a Dios por la vida y por mis padres, por ser ellos mis más grandes ejemplos de apoyo, entrega, consagración y trabajo. Gracias por hacer de mí, un hombre de bien, con sueños e ilusiones y por enseñarme a que los sueños se cumplan con esmero, dedicación y esfuerzo.

Como no agradecer a mi familia, que han sido el pilar en que me sustentó, quienes compartieron conmigo de la mano esta etapa de mi vida estudiantil, quienes estuvieron siempre ahí con un abrazo, con un consejo con un sigue adelante.

Un agradecimiento especial para Andreita Ceballos por todo el apoyo y horas dedicadas a arreglar toda esta sopa de letras.

Agradezco a mis amigos quienes con sus locuras, aciertos y desaciertos hicieron de esta etapa la experiencia más grandiosa de mi vida.

*GRACIAS POR AYUDARME A CUMPLIR ESTA QUIMERA*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	I
SUMMARY .....	II
INTRODUCCIÓN .....	III
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación .....	2
1.3.1. Justificación teórica.....	2
1.3.2. Justificación Metodológica .....	3
1.3.3. Justificación Práctica.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo General .....	4
1.4.2. Específicos .....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Remolques.....	5
2.1.1. Tipos de remolque .....	6
2.1.1.1. Remolque simple .....	6
2.1.1.2. Remolque cerrado.....	6
2.1.1.3. Remolque de altas prestaciones .....	7
2.2. Elementos generales de un remolque.....	7
2.2.1. Plataformas para remolque .....	8

2.2.2. Tirones.....	8
2.3. Diseño de remolques .....	9
2.3.1. Factores fundamentales del diseño de remolques .....	9
2.3.2. Chasis o bastidor .....	10
2.3.3. Consideraciones de simetría.....	11
2.4. Materiales usados para el diseño de remolques .....	13
2.5. Sistemas neumáticos.....	16
2.5.1. Actuadores.....	17
2.5.2. Cilindros de fuelle .....	18
2.5.2.1. Ventajas de los cilindros de fuelle .....	19
2.5.2.2. Procedimiento de selección de fuelles neumáticos .....	20
2.5.3. Válvulas distribuidoras .....	21
2.5.4. Válvulas y otros accesorios.....	22
2.5.5. Compresor .....	23
2.5.6. Diseño de un sistema neumático .....	25
2.5.7. Pilotaje de sistemas neumáticos .....	25
2.6. El método del elemento finito .....	28
2.6.1. Método de rigidez .....	30
CAPÍTULO III.....	33
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....	33
3.1. Definición del producto.....	33
3.1.1. Definición del problema.....	33
3.1.2. Necesidades del cliente .....	33
3.1.3. Desarrollo de la función de la calidad (QFD).....	36
3.1.4. Casa de la calidad.....	36

3.2. Diseño conceptual .....	39
3.3. Variables de diseño .....	43
3.3.1. Método de selección .....	43
3.3.2. Determinación del peso para cada uno de los parámetros .....	44
3.3.2.1. Capacidad de carga .....	44
3.3.2.2. Riesgo para el operario .....	44
3.3.2.3. Tiempo de carga y descarga .....	45
3.3.2.4. Costos .....	45
3.3.2.5. Facilidad de operación .....	45
3.3.2.6. Transportabilidad .....	46
3.3.3. Evaluación de los factores .....	46
3.3.4. Matriz de decisión .....	46
3.3.4.1. Análisis de la matriz .....	47
CAPÍTULO IV .....	48
4. DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS PARA EL REMOLQUE .....	48
4.1. Dimensionamiento de la estructura .....	48
4.2. Cálculos del remolque usando un perfil IPE 100 .....	49
4.2.1. Modelado y Asignación de Secciones .....	50
4.3. Definición de Cargas .....	51
4.3.1. Carga debido al peso del auto .....	52
4.3.1.1. Determinación de cargas .....	53
4.3.1.2. Asignación de Cargas .....	54
4.4. Análisis de Resultados .....	54
4.5. Estado de Esfuerzos .....	55
4.5.1. Estado de Deformaciones .....	55

4.6. Análisis por Elementos Finitos .....	56
4.7. Resultados .....	59
4.7.1. Deformaciones .....	59
4.7.2. Esfuerzos .....	60
4.7.3. Análisis del brazo elevador en ANSYS.....	61
4.7.3.1. Análisis de la ménsula .....	62
4.7.3.2. Definición de la malla .....	63
4.7.3.3. Asignación de cargas .....	64
4.8. Resultados de la ménsula .....	65
4.8.1. Deformación máxima .....	65
4.8.2. Esfuerzo máximo .....	66
4.9. Selección de elementos de elevación y soporte de la alternativa 3 .....	67
4.9.1. Compresor .....	67
4.9.2. Acumulador de aire .....	67
4.9.3. Fuelles Neumáticos.....	68
4.9.3.1. Características .....	68
4.9.4. Electroválvulas.....	69
4.9.5. Control eléctrico de posición .....	70
4.9.6. Acoples y mangueras.....	70
4.9.7. Manómetros .....	71
4.10. Materiales utilizados en el diseño.....	71
CAPÍTULO V .....	73
5. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	73
5.1. Procedimiento de construcción .....	73
5.2. Normas de construcción .....	73

5.3. Construcción del cuadro principal .....	74
5.4. Construcción de rieles internas de la plataforma.....	74
5.5. Construcción del triángulo de arrastre.....	74
5.6. Construcción del piso de las rieles .....	75
5.7. Construcción de las rampas fijas al remolque .....	75
5.8. Construcción del mecanismo de elevación .....	76
5.9. Acople del mecanismo de elevación a la plataforma .....	76
5.10. Construcción de la caja porta accesorios .....	77
5.11. Pintado general de la estructura .....	77
5.12. Manual del usuario.....	78
5.13. Precauciones generales.....	80
5.14. Pruebas de campo .....	81
5.15. Prueba de elevación con 2000 kg .....	81
5.16. Pruebas comparativas entre un remolque convencional y el remolque planteado en nuestro diseño.....	83
CAPÍTULO VI .....	87
6. ESTUDIO DE COSTOS .....	87
6.1. Costos directos .....	87
6.2. Costos indirectos .....	87
CAPÍTULO VII .....	89
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	89
7.1. Conclusiones .....	89
7.2. Recomendaciones .....	90
BIBLIOGRAFÍA	
PLANOS	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2-1.</b> Diseño de un remolque .....	5
<b>Figura 2-2.</b> Remolque simple .....	6
<b>Figura 2-3.</b> Remolque Cerrado.....	6
<b>Figura 2-4.</b> Remolque de altas prestaciones de dos ejes .....	7
<b>Figura 2-5.</b> (a) Remolque entre ruedas. (b) Remolque sobre ruedas .....	8
<b>Figura 2-6.</b> Tirones para remolque: (a) Tipo Bola (b) Tipo Ojo (c) Tipo Gancho	8
<b>Figura 2-7.</b> Sistema de distribución de peso para remolques .....	9
<b>Figura 2-8.</b> Sistema de seguridad para acoplamiento de remolques. ....	10
<b>Figura 2-9.</b> Plataforma tipo U .....	11
<b>Figura 2-10.</b> Plano de simetría y ejes de referencia para análisis de remolque .....	12
<b>Figura 2-11.</b> Carta módulo de elasticidad versus densidad de materiales .....	14
<b>Figura 2-12.</b> Carta resistencia mecánica versus densidad de materiales .....	15
<b>Figura 2-13.</b> Componentes de un sistema neumático .....	16
<b>Figura 2-14.</b> Cilindro neumático y sus accesorios .....	17
<b>Figura 2-15.</b> Cilindros de Fuelle .....	19
<b>Figura 2-16.</b> Válvula Distribuidora 3x2 monoestable con pilotaje neumático ...	22
<b>Figura 2-17.</b> Curva de caída de presión vs caudal para válvula anti retorno ...	23
<b>Figura 2-18.</b> Grupo compresor .....	24
<b>Figura 2-19.</b> Caídas de presión en un sistema neumático consideradas para su diseño .....	25
<b>Figura 2-20.</b> Método de la cascada secuencial A+/B+/B-/A-.....	26
<b>Figura 2-21.</b> Sistema pasó a paso de cuatro líneas de simultaneidad .....	27

<b>Figura 2-22.</b> Secuenciador de cuatro etapas.....	27
<b>Figura 2-23.</b> Diagrama K-V para un sistema neumático de 4 cilindros .....	28
<b>Figura 2-24.</b> Dominio discretizado para análisis mediante elementos finitos ...	29
<b>Figura 2-25.</b> Pasos para resolver un problema mediante el método del elemento finito.....	30
<b>Figura 2-26.</b> (a) Elemento tipo resorte con sus nodos, desplazamientos y cargas nodales (b) Grafica fuerza vs deformación lineal .....	31
<b>Figura 3-1.</b> Casa de la Calidad.....	37
<b>Figura 3-2.</b> Caja negra de Funciones .....	40
<b>Figura 3-3.</b> Estructura Funcional .....	41
<b>Figura 3-4.</b> Remolque móvil con circuitos neumáticos para transporte de 2T ..	43
<b>Figura 4-1.</b> Dimensiones promedio de vehículos a ser transportados .....	48
<b>Figura 4-2.</b> Perfiles existentes en el mercado ecuatoriano .....	49
<b>Figura 4-3.</b> Vista Planta de remolque con dimensiones preliminares .....	49
<b>Figura 4-4.</b> Soportes de la plataforma .....	50
<b>Figura 4-5.</b> Modelo 3D de la estructura .....	51
<b>Figura 4-6.</b> Asignación de secciones.....	51
<b>Figura 4-7.</b> Definición de estados de carga .....	52
<b>Figura 4-8.</b> Posición de carga .....	52
<b>Figura 4-9.</b> Posición de carga 2.....	53
<b>Figura 4-10.</b> (a) Asignación de carga 1 (b) Asignación de carga 2 .....	54
<b>Figura 4-11.</b> (a) Estados tensionales de los elementos (b) Estados de deformación de los elementos .....	55
<b>Figura 4-12.</b> Modelo 3D de la estructura .....	56
<b>Figura 4-13.</b> (a), (b) y (c) Generación del mallado.....	58
<b>Figura 4-14.</b> Asignación de cargas.....	58

<b>Figura 4-15.</b> Estado de deformaciones.....	59
<b>Figura 4-16.</b> Estado de esfuerzos de Von Misses .....	60
<b>Figura 4-17.</b> Ménsula de Elevación .....	61
<b>Figura 4-18.</b> Ménsula de Elevación abierta .....	62
<b>Figura 4-19.</b> Fuerzas Generadas en la Ménsula .....	63
<b>Figura 4-20.</b> Mallado de la Ménsula .....	63
<b>Figura 4-21.</b> Asignación de apoyo de la ménsula.....	64
<b>Figura 4-22.</b> Asignación de cargas a la Ménsula.....	64
<b>Figura 4-23.</b> Asignación de cargas al eje .....	65
<b>Figura 4-24.</b> Deformación máxima de la ménsula .....	65
<b>Figura 4-25.</b> Esfuerzo máximo de la ménsula .....	66
<b>Figura 4-26.</b> Compresor marca Airmaxxx.....	67
<b>Figura 4-27.</b> Reservorio de Aire .....	67
<b>Figura 4-28.</b> Fuelle Neumático .....	68
<b>Figura 4-29.</b> Curva característica fuelle FD 200-25 .....	69
<b>Figura 4-30.</b> Electroválvulas.....	69
<b>Figura 4-31.</b> Control eléctrico de posición .....	70
<b>Figura 4-32.</b> Acoples .....	70
<b>Figura 4-33.</b> Manómetro.....	71
<b>Figura 5-1.</b> Cuadro principal.....	74
<b>Figura 5-2.</b> Rieles Internos .....	74
<b>Figura 5-3.</b> Triangulo de arrastre.....	75
<b>Figura 5-4.</b> Piso del remolque .....	75
<b>Figura 5-5.</b> Rampas Fijas .....	76
<b>Figura 5-6.</b> Mecanismo de Elevación .....	76

<b>Figura 5-7.</b> Acople del mecanismo a la plataforma.....	77
<b>Figura 5-8.</b> Caja Porta accesorios .....	77
<b>Figura 5-9.</b> Pintado del Remolque .....	78
<b>Figura 5-10.</b> Especificaciones del control Remoto.....	78
<b>Figura 5-11.</b> Prueba con vehículo Corsa.....	81
<b>Figura 5-12.</b> Prueba con vehículo Suzuki.....	81
<b>Figura 5-13.</b> Prueba de elevación con 2070 kg .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1.</b> Procedimiento de selección de fuelles neumáticos .....	21
<b>Tabla 3-1.</b> Matriz de Decisión .....	35
<b>Tabla 3-2.</b> Especificaciones para el diseño .....	39
<b>Tabla 3-3.</b> Alternativas de Diseño .....	42
<b>Tabla 3-4.</b> Evaluación de Factores .....	46
<b>Tabla 3-5.</b> Matriz de Alternativas de selección .....	47
<b>Tabla 4-1.</b> Tabla de materiales utilizados .....	72
<b>Tabla 5-1.</b> Comparativa entre remolques, con vehículo corsa wind .....	83
<b>Tabla 5-2.</b> Comparativa entre remolques, con vehículo Volkswagen gol power .....	84
<b>Tabla 5-3.</b> Comparativa entre remolques, con vehículo aveo family .....	85
<b>Tabla 5-4.</b> Comparativa entre remolques, con vehículo Mazda B2600 4x4 .....	86
<b>Tabla 6-1.</b> Estimación de costos directos .....	87
<b>Tabla 6-2.</b> Estimación de costos indirectos .....	88

## RESUMEN

El principal objetivo del proyecto presentado es diseñar y construir un remolque móvil con circuitos neumáticos para el transporte de un peso máximo de dos toneladas.

Cabe resaltar que este es un sistema innovador en el país, dado que es el primero con esta funcionalidad de subir y bajar su plataforma al nivel del piso, brindando servicio de transporte con mayor seguridad. El diseño del mecanismo se realizó con el programa CAD llamado Solid Works 2016 en el cual se asignó las medidas permitidas por el reglamento a la ley de tránsito vigente en el país; Se verificó la resistencia estructural del remolque mediante la utilización del programa CAE SAP2000, en el cual obtuvimos de una manera gráfica y numérica los esfuerzos y deformaciones presentes en la estructura metálica; los mismos que no van afectar en el funcionamiento diario del mismo. Al obtener el diseño el siguiente paso es la construcción del remolque, en el que se han establecido normas de seguridad, para la construcción de cada una de las partes que conforman el proyecto mencionado, así también se han realizado las respectivas pruebas de campo que permitieron determinar el funcionamiento del mismo. Cada recalcar que las pruebas se realizaron con el máximo peso que se estableció para la estructura que fue el de dos toneladas, de esta manera se asegura que la estructura brinda toda la seguridad necesaria para el transporte de vehículos.

Palabras clave: <DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA> <CIRCUITOS NEUMÁTICOS> <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN> <DISEÑO DE REMOLQUES > <CONSTRUCCIÓN DE UN REMOLQUE>

## SUMMARY

The main objective of the presented project is to design and build a mobile trailer with pneumatic circuits for the transport of a maximum weight of two tons.

It should be noted that this is an innovative system in the country, since it is the first with this ability to raise and lower its platform at ground level, providing transport services with greater security. The design of the mechanism was carried out with the CAD program called Solid Works 2016 in which they were assigned the measures allowed by the regulation of the current traffic law in the country. The structural strength of the trailer was verified through the use of the CAE SAP2000 program, in which we obtained in a graphic and numerical way the stresses and deformations present in the metallic structure, which will not affect the daily functioning of the trailer. When obtaining the design, the next step is the construction of the trailer, in which safety standards have been stipulated, for the construction of each of the parts that make up the aforementioned project. Additionally, the respective field tests have been carried out, which allowed to determine its operation. It should be noted that the tests were performed with the maximum weight that was established for the structure that was two tons, in this way it is ensured that the structure provides all the necessary security for the transport of vehicles.

Key words: <COMPUTER AIDED DESIGN <PNEUMATIC CIRCUITS>  
<ENGINEERING AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY> <TRAILERS  
DESIGN> <TRAILERS DESIGN> <CONSTRUCTION OF A TRAILER>

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el servicio de transporte es indispensable ya sea para personas o cosas, en el caso de estudio, el diseño y construcción del remolque se enfoca principalmente en la movilización de objetos con un peso máximo de dos toneladas, brindando las medidas de seguridad necesarias para el bienestar de los objetos transportados.

Se ha buscado innovar las características del remolque, basándose en los requerimientos del cliente, para lo cual se propone que la rampa baje hasta el piso y se eleven los objetos a transportar, con las medidas de seguridad necesarias, de manera que dichos bienes no sufran ningún tipo de modificación, o daño que altere la integridad física del bien.

El trabajo presentado se divide en los capítulos que a continuación se mencionan:

**Capítulo I:** En esta sección se describe el problema, la justificación teórica, práctica y metodológica, así como los objetivos que se pretenden alcanzar.

**Capítulo II:** Hace referencia a la sustentación teórica de cada uno de los elementos y aspectos que son fundamentales para la construcción y diseño del remolque móvil

**Capítulo III:** Se procede a la realización del respectivo diseño y construcción del remolque para lo cual es necesario realizar y determinar métodos de selección, evaluación de factores y matriz de decisión, los cálculos correspondientes se dirigen al modelado y asignación, definición de cargas, estado de esfuerzos, dimensionamiento usando un perfil UPN 100, selección de elementos de elevación.

**Capítulo V:** En este capítulo se describe el proceso de construcción del remolque y las respectivas pruebas de funcionamiento, por medio de las cuales se verifica la idea propuesta.

**Capítulo VI:** Se determinan los costos directos e indirectos en los que se incurre la construcción del remolque propuesto

**Capítulo VII:** Se establecen conclusiones y recomendaciones.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1. Antecedentes

En la actualidad todas las personas han necesitado al menos una vez transportar ciertos objetos que normalmente no entran en la cajuela de un vehículo, razón por la cual se han visto en la necesidad de alquilar o rentar una camioneta, plataforma, camión, etc. Para poder así trasladar hacia diferentes lugares donde cada propietario así lo requiere, el transporte se lo realiza de varias formas, ciertos métodos en los que se transportan no resultan ser adecuados para la integridad de los mismos, debido a que el momento de subir o bajar los objetos estos pueden rozar, golpearse, caerse, etc. estropeando así los elementos que se está transportando, situación que molesta a los propietarios de los mismos debido a que se requiere un servicio el cual no cause daño a los objetos que se desea transportar.

También debemos tomar en cuenta el tiempo que implica subir y bajar cada elemento de la camioneta, plataforma, camión, etc. Tiempo que se podría ocupar en el mismo traslado o para poder realizar otra actividad; debemos estar conscientes además el esfuerzo que éste demanda al mover todas estas cosas hasta la altura que el medio de transporte lo tenga.

Ahora en el país se puede obtener remolques, los cuales tienen un sistema de suspensión fijo a una altura determinada, que lamentablemente no brinda todas las facilidades para un transporte seguro.

En el país se han desarrollado remolques como los realizados en la ciudad de Quito por estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional el cual posee una suspensión modificada solo para trasladar vehículos. En el mercado nacional las empresas que se dedican a comercializar este tipo de remolques son: remolques Vásquez, Colman, etc., mismos que venden diseños solo con suspensión fija.

## **1.2. Planteamiento del problema**

Con el presente trabajo se va a diseñar y construir un remolque con circuitos neumáticos que va a facilitar el transporte de elementos hacia los diferentes lugares deseados por los propietarios, eliminando de esta manera el problema generado al subir los objetos hacia un remolque por medio de rampas, esfuerzo humano o tablas; el propósito es lograr que el remolque baje hasta el nivel del piso, suban las cosas al remolque y este pueda regular su suspensión a una altura óptima solamente accionando un pulsador; y así poder realizar el traslado eficientemente y sin daños.

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Justificación teórica**

El desarrollo del presente trabajo es de mucha valía en cuanto a la gestión de transporte, porque se está presentando una propuesta innovadora con la cual se pretende reducir los riesgos que implican la utilización de un remolque.

Este tipo de sistema de suspensión neumática tendrá la posibilidad de bajar al nivel del piso para que los objetos deseados puedan subir de una manera más eficiente, segura y que no implicará ningún riesgo, una vez que se encuentre ya en el remolque éste pueda regular su suspensión hasta una altura adecuada para su movilización hacia el lugar deseado.

Además, será un sistema innovador en el país, sería el primero con esta funcionalidad de subir y bajar su plataforma al nivel del piso, brindando servicio de transporte con una mayor rapidez y seguridad.

Otro beneficio importante es que se elimina el esfuerzo físico realizado por el propietario, ya que no tiene que mover rampas, tablas o desplazar los objetos hasta la altura que el vehículo posea para subir o bajar, simplemente basta con accionar un pulsador con el cual el remolque baja al nivel del piso, los objetos deseados se suben y con otro pulsador el remolque toma una altura óptima para el transporte.

### **1.3.2. Justificación Metodológica**

Para el desarrollo del remolque con circuitos móviles se utilizó un proceso de diseño que consta de cuatro etapas: una de ellas es la definición del producto, en donde se establece el diseño y construcción de un remolque móvil con circuitos neumáticos para el transporte de un peso de máximo dos toneladas, la siguiente etapa consiste en el diseño conceptual el dónde se va a definir los requerimientos necesarios para la construcción de nuestro remolque.

La tercera etapa que se encuentra dentro de las especificaciones metodológicas es el diseño de materialización, donde se desarrolla los requerimientos que plantea el cliente como son dimensiones de la plataforma sistema de sujeción, sistema neumático, luces, etc.

En cuanto a la cuarta etapa especificada dentro de la metodología se encuentra el diseño de detalle, el mismo que consiste en detallar cada uno de los componentes del remolque basándose en los planos constructivos.

### **1.3.3. Justificación Práctica**

Para el desarrollo del trabajo se ha tomado en cuenta los conocimientos teóricos obtenidos mediante la formación universitaria, los mismos que sirvieron como fundamentos para la creación de un remolque móvil con circuitos neumáticos, y de esta manera contribuir al desarrollo de nuevas tecnologías que sean de gran utilidad para las personas que requieran de este tipo de sistema.

Cada uno de los procesos realizados sirvieron de gran ayuda para mejorar cada uno de los conocimientos y mejorarlo según la practica al realizar el remolque debido a que cada una de las especificaciones determinadas para su realización contribuyen a establecer una investigación de calidad el mismo que demuestra que los conocimientos adquiridos en las aulas de clase contribuyen a un buen desarrollo.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Diseñar y construir un remolque móvil con circuitos neumáticos para el transporte de un peso máximo de dos toneladas.

### **1.4.2. Específicos**

- Realizar el diseño del mecanismo de elevación mediante la utilización de un software CAD, para que este se adapte a todos los elementos.
- Verificar la resistencia de la estructura mediante el uso de un programa CAE aplicando las teorías de falla estática para brindar seguridad a los usuarios del remolque.
- Seleccionar los elementos adecuados del mecanismo de elevación mediante la aplicación de principios neumáticos para el correcto funcionamiento de nuestro remolque.
- Realizar pruebas de funcionamiento para asegurar el uso del mecanismo de elevación.

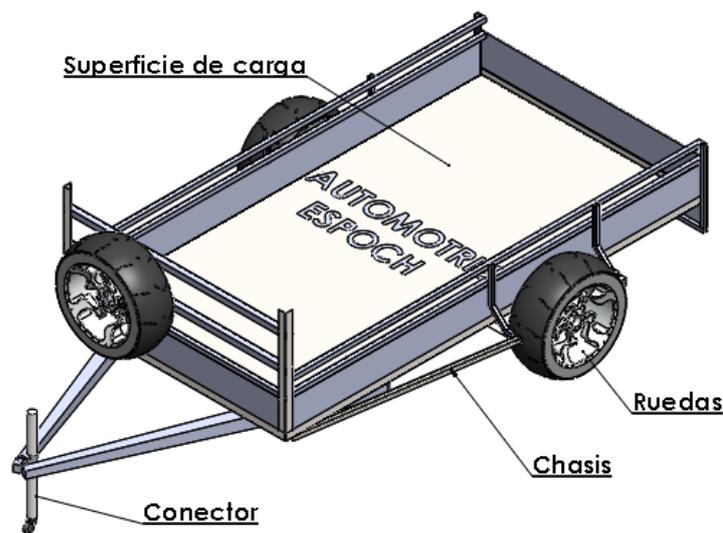
## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Remolques

La Real Academia Española define al remolque como un “Vehículo sin motor que es remolcado por otro” (Real Academia Española).

El remolque ha sido utilizado desde hace varios años atrás, utilizados como medio de transporte antepuesto por un tractor. Básicamente el remolque está compuesto por el chasis, ruedas, superficie de carga y frenos, así mismo debe poseer luces que deben ser activadas mediante una conexión eléctrica al vehículo que remolca (Madueño, 2012).



**Figura 2-1.** Diseño de un remolque

Fuente: Autor

La Norma INEN-2656 (Clasificación Vehicular) clasifica a los remolques en la categoría O de acuerdo a la siguiente codificación: (Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2016)

- O1: Remolques de 0.75 toneladas o menos.
- O2: Remolques mayor a 0.75 hasta 3.5 toneladas.
- O3: Remolques mayor a 3.5 hasta 10 toneladas.
- O4: Remolques mayores a 10 toneladas.

## 2.1.1. Tipos de remolque

### 2.1.1.1. Remolque simple

La principal característica de este tipo de remolque es que es de fabricación sencilla, en su diseño y posterior construcción no es necesario ningún sistema de suspensión ni frenos de inercia, el uso de este tipo de remolque es limitado únicamente para cargas livianas (Madueño, 2012).



**Figura 2-2.** Remolque simple

Fuente: (Teardrops, 2012)

### 2.1.1.2. Remolque cerrado

La característica más importante de este tipo de remolques es la protección que se brinda a la carga que se transporta, están diseñados para transportar un peso medio es decir no tan elevado, razón por la cual es necesario analizar el uso de frenos, inercia, suspensión y sistema de luces (Madueño, 2012).



**Figura 2-3.** Remolque Cerrado

Fuente: (R&J Trailers, 2002)

### 2.1.1.3. Remolque de altas prestaciones

Este remolque es utilizado para transportar cargas pesadas, además cuenta con los respectivos sistemas de seguridad e iluminación, también éstos pueden ser de varios ejes y tener algún tipo de cubierta (Madueño, 2012).

## 2.2. Elementos generales de un remolque

De acuerdo con (Rodríguez, 2008) los elementos que deben ser considerados en el diseño de un remolque de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM 2012 son:

- **Sistema estructural:** se basa en el cumplimiento del diseño para la construcción del remolque.
- **Suspensión neumática-mecánica y ejes:** la capacidad de los ejes será aquella que resulte al aplicar un factor de seguridad de 3. La suspensión tendrá una capacidad de al menos o igual a la capacidad de los ejes.
- **Patines:** deben diseñarse con el fin de brindar mayor accesibilidad y fiabilidad al momento de levantar el remolque.
- **Rines y llantas:** la capacidad total de los rines será al menos del 75% del peso bruto vehicular.
- **Sistema de frenos:** serán instalados en función del peso de la carga.
- **Sistema de luces:** en caso de que el remolque- impida la visualización del vehículo tractor será necesario la instalación de este sistema.
- **Tirón:** depende la carga que se va a tirar. Por lo general se usan los de tipo bola.

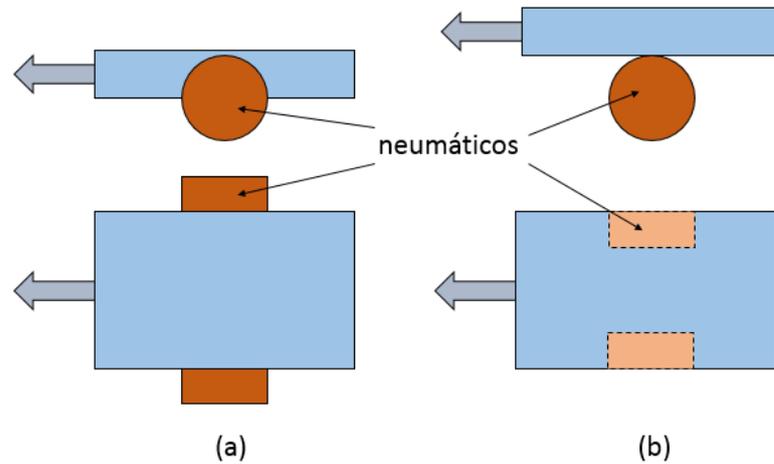


**Figura 2-4.** Remolque de altas prestaciones de dos ejes

Fuente: (Ebay, 2016)

### 2.2.1. Plataformas para remolque

Las plataformas para remolque se diseñan principalmente considerando el tipo y volumen de carga. Si se demanda una gran área de carga se debe elegir un remolque tipo sobre ruedas. Por otra parte, si se requiere un mayor volumen de carga se sugiere un remolque del tipo entre ruedas, es decir que se reduce la altura entre la plataforma de carga y el suelo. (Cumbal, y otros, 2009)



**Figura 2-5.** (a) Remolque entre ruedas. (b) Remolque sobre ruedas

Fuente: Autor

### 2.2.2. Tirones

La selección del tirón depende de la carga que se vaya a remolcar. Los tirones comúnmente usados son el tipo bola, tipo gancho o tipo ojo (Cardona, 2010).



**Figura 2-6.** Tirones para remolque: (a) Tipo Bola (b) Tipo Ojo (c) Tipo Gancho

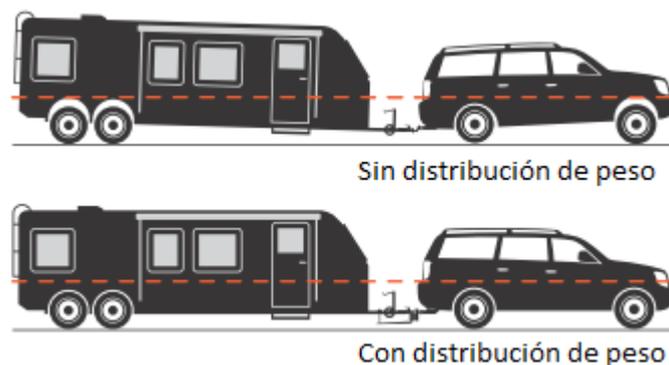
Fuente: (Omegalfa, 2016)

## 2.3. Diseño de remolques

### 2.3.1. Factores fundamentales del diseño de remolques

Es de vital importancia definir los factores significativos que influyen tanto en el diseño como la construcción de un remolque (Cardona, 2010).

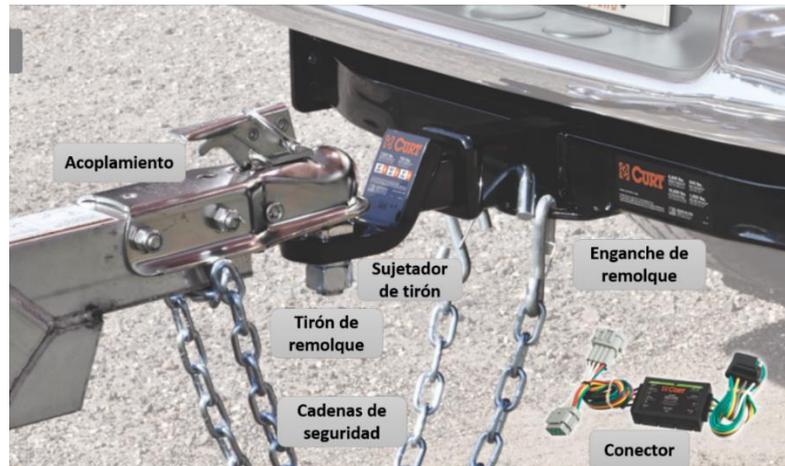
- **Peso bruto del remolque (PBR):** No es más que el total del peso tanto del remolque como el de la carga.
- **Capacidad de arrastre (CA):** corresponde a la capacidad de tiro que un remolque puede tener sin la necesidad de agregar un sistema de distribución.
- **Capacidad de peso distribuido (CPD):** es la medida del peso total de un remolque que puede ser arrastrada con seguridad mediante un sistema de distribución instalado como muestra la Figura 2-7.



**Figura 2-7.** Sistema de distribución de peso para remolques

Fuente: (CURTMFG, 2010)

- **Carga de lengüeta:** es la fuerza hacia abajo ejercida sobre la bola del remolque por el acople.
- **Control de balanceo:** es un dispositivo que ayuda a reducir el movimiento lateral de remolques que pueden ser causados por el viento o movimientos bruscos. Pueden ser usados con o sin un sistema de distribución de peso.
- **Cadenas de seguridad:** deben estar colocadas de tal forma que no permitan que la lengüeta toque el suelo en caso de que el remolque llegase a separarse del medio tractor como muestra la Figura 2-8.



**Figura 2-8.** Sistema de seguridad para acoplamiento de remolques.

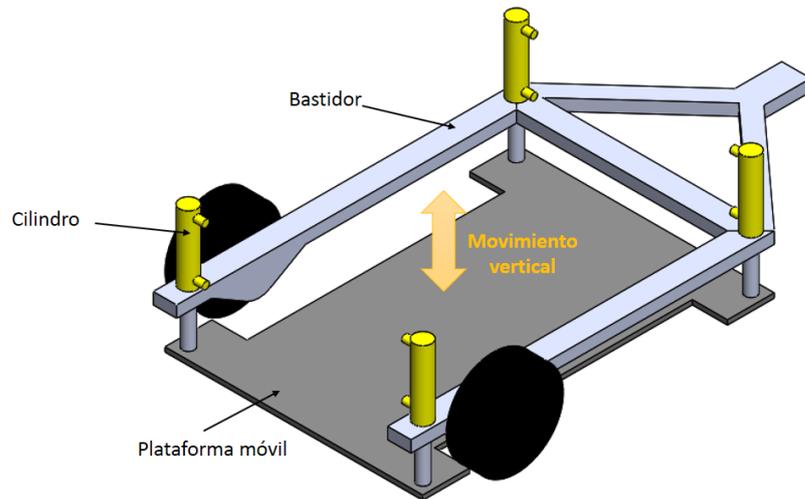
Fuente: (CURTMFG, 2010)

### 2.3.2. Chasis o bastidor

El bastidor de un remolque es la estructura fundamental que debe tener un remolque. Un bastidor puede definirse como una estructura rígida en la que se fijan de cualquier manera los diferentes elementos y grupos mecánicos que componen un remolque como por ejemplo sistema de suspensión, sistema de freno, sistema de plataforma entre otros (Heibing, y otros, 2011).

El bastidor de un remolque debe estar diseñado para sobrellevar sobrecargas. Es decir que debe soportar tanto cargas estáticas como dinámicas. Las cargas estáticas están compuestas por el peso del remolque y de la carga. Por otra parte, las cargas dinámicas son originadas por el funcionamiento mismo del remolque y pueden verse afectadas por diferentes elementos como por ejemplo la velocidad de movimiento, velocidad del viento, vibraciones y otros (Genta, y otros, 2009).

Los principales tipos de bastidores para remolques están fabricados de acero tipo X. Para el caso de plataformas móviles se prefiere las estructuras tipo U (Patentados.com, 2016).



**Figura 2-9.** Plataforma tipo U

Fuente: (Omegalfa, 2016)

### 2.3.3. Consideraciones de simetría

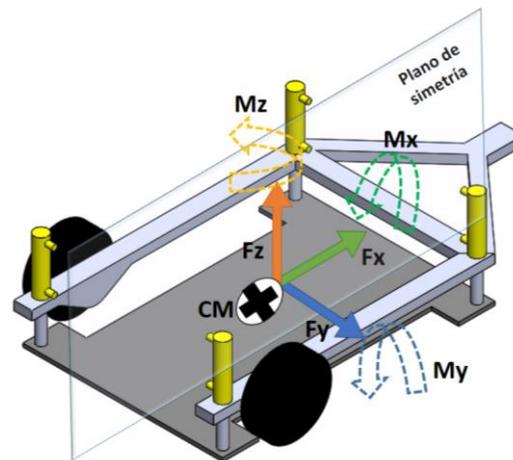
Tener un plano de simetría simplifica el estudio del comportamiento dinámico del sistema del remolque. Entonces, el sistema puede ser modelado empleando ecuaciones no-acopladas. Otra ventaja de mantener simetría en el diseño de remolques es que se puede conservar el centro de masa del remolque de tal forma que la distribución de cargas pueda ser simplificada. Dicho de otra forma, la distancia del centro de masa respecto del plano de simetría es pequeño.

El estudio del movimiento de un remolque es usualmente llevado a cabo en base a marcos de referencia que están más o menos estandarizados como representa la Figura 2-10:

- **Sistema de ejes fijo a tierra (XYZ):** Este es un sistema de referencia inercial tipo mano derecha que se supone fija al camino.
- **Sistema de ejes del remolque (xyz):** Este es un sistema de referencia tipo mano derecha el cual se mantiene fijo al centro de masa del remolque y se mueve junto a él. La posición del centro de masa es muy importante para determinar el comportamiento del remolque y debe ser calculado, o al menos estimada, en la etapa del diseño y luego experimentalmente determinada. Si los componentes del remolque pueden obtenerse usando

técnicas CAD, es posible obtener de manera efectiva las coordenadas del centro de masa.

Por ejemplo, una aplicación importante de mantener una simetría aproximada durante el diseño de un remolque es que su momento de inercia puede ser determinado con relativa facilidad y por tanto determinar de manera más efectiva el comportamiento dinámico del remolque



**Figura 2-10.** Plano de simetría y ejes de referencia para análisis de remolque

Fuente: (Omegalfa, 2016)

Usualmente, los momentos de inercia son de interés para calcular variables dinámicas como los momentos de giro respecto a los ejes  $x, y, z$  conocidos también como *roll*, *pitch* y *yaw*.

El tensor inercia de un cuerpo rígido está dado por la matriz:

$$J = \begin{bmatrix} J_x & -J_{xy} & -J_{xz} \\ -J_{xy} & J_y & -J_{yz} \\ -J_{xz} & -J_{yz} & J_z \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde los momentos de inercia son:

$$J_x = \int_V (y^2 + z^2) dm \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$J_y = \int_V (x^2 + z^2) dm \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$J_z = \int_V (x^2 + y^2)dm \quad \text{Ecuación (4)}$$

Y los productos de inercia son:

$$J_{xy} = \int_V xydm \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$J_{xz} = \int_V xzdm \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$J_{yz} = \int_V yzdm \quad \text{Ecuación (7)}$$

Si el remolque posee un plano de simetría que coincide con el plano  $xz$ , el producto de inercia  $J_{xy}$  y  $J_{yz}$  desaparecen y el tensor de inercia del vehículo se reduce a:

$$J = \begin{bmatrix} J_x & 0 & -J_{xz} \\ 0 & J_y & 0 \\ -J_{xz} & 0 & J_z \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación (8)}$$

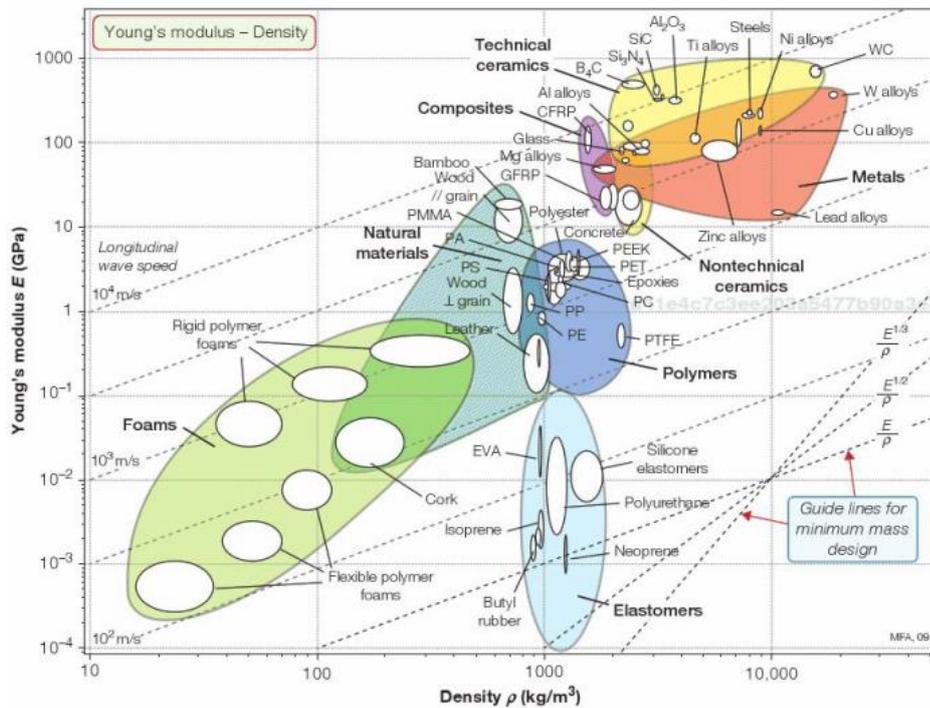
Al igual que con el centro de masa, el cómputo de los momentos de inercia del remolque y sus partes es una operación compleja, pero el diseño CAD permite obtenerlos de manera aproximada. Claro está que si se trata de un modelo dinámico estos valores irán variando haciendo que el tiempo de cálculo sea cada vez más grande, así como el consumo de datos de cómputo.

#### **2.4. Materiales usados para el diseño de remolques**

Los materiales usados en la industria automotriz deben satisfacer diferentes condiciones como por ejemplo: rigidez/peso y resistencia /peso adecuadas. Es decir, los sistemas automotrices deben ser livianos, pero con adecuada resistencia mecánica y un módulo elástico capaz de absorber gran capacidad de energía en el caso de impactos (Ashby, 2010).

La metodología Ashby proporciona cartas que relacionan estas propiedades y permiten identificar grupos de materiales que pueden seleccionarse en función

de índices correspondientes al comportamiento de los distintos elementos. Por ejemplo, un elemento tipo viga y de sección libre puede emplearse el índice  $\frac{1}{2}$ .



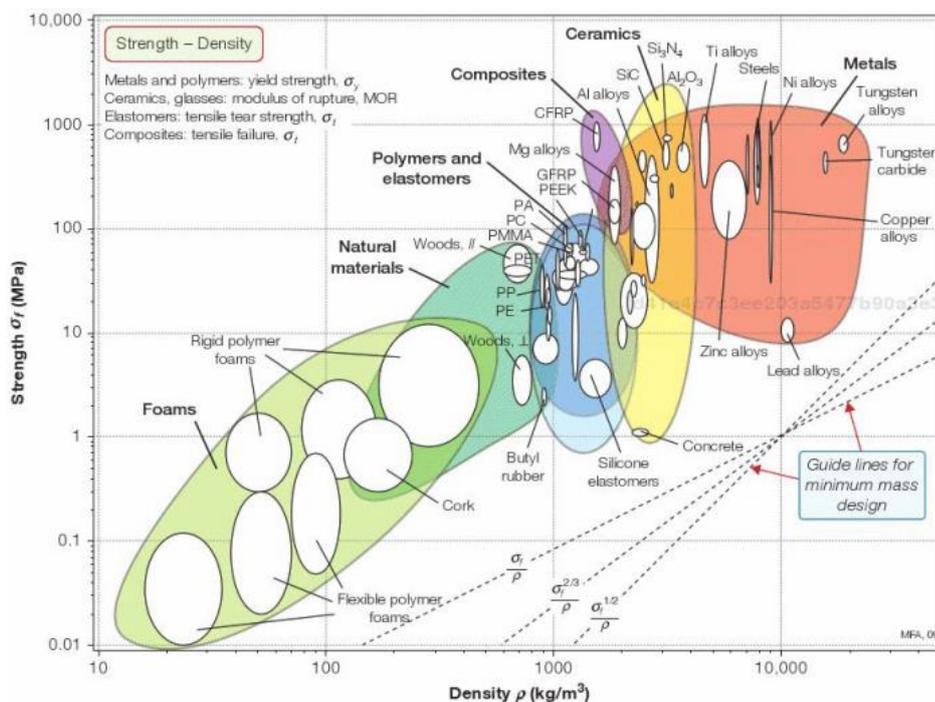
**Figura 2-11.** Carta módulo de elasticidad versus densidad de materiales

Fuente: (Ashby, 2010)

Los metales, y en especial el acero (por su precio) son los materiales más usados en la industria automotriz. La mayoría de la estructura de chasis y carrocería se fabrica con este material debido a su relativo bajo costo, sus buenas cualidades mecánicas como maleabilidad, ductilidad, resistencia mecánica y módulos de elasticidad superiores que otros metales, lo que supone el uso de secciones y espesores menores en las piezas finales.

Existen varios tipos de acero, desde aceros de bajo carbono destinados a elementos estructurales hasta aceros de alta aleación empleados en aplicaciones muy exigentes. La *International Organization for Standardization* (ISO), las *Society of Automotive Engineers* (SAE), la *American Iron and Steel Institute* (AISI), y la *American Society for Testing and Materials* (ASTM) recomiendan los siguientes tipos de acero para la industria automotriz:

- **ISO 630:** Aceros estructurales
- **ISO 4951:** Perfiles y barras de alto límite elástico
- **ISO 4952:** Aceros estructurales con mayores prestaciones ante la corrosión
- **AISI/SAE 1016-1020:** Aceros de bajo carbono para estructuras
- **AISI/SAE 1045/1050:** Aceros de medio carbono para estructuras
- **ASTM A36:** Acero de bajo carbono para estructuras.



**Figura 2-12.** Carta resistencia mecánica versus densidad de materiales

**Fuente:** (Ashby, 2010)

Las microestructuras de los aceros influyen de manera determinante en las propiedades mecánicas de los mismos. Los aceros para aplicaciones estructurales suelen venir en presentaciones con sección redonda, tubular, cuadrada, rectangular y láminas que pueden venir roladas en frío o caliente.

Las aleaciones de aluminio se caracterizan por su baja densidad (2700 kg/m<sup>3</sup>) respecto del acero (7900 kg/m<sup>3</sup>) y buena resistencia a la corrosión. Las aleaciones de aluminio más comunes se clasifican de acuerdo a la siguiente denominación estandarizada:

- **Series AISI 6061, 6062, 6063:** Aleaciones para elementos estructurales en la industria automotriz.
- **Series 7075, 7118:** Aleaciones para la industria aeronáutica y aeroespacial.
- **Series 2017, 2018:** Remaches, pasadores y elementos estructurales.

El aluminio no es una opción económica para la construcción de un remolque, sin embargo, ciertas partes pueden fabricarse en virtud de reducir el peso total del sistema manteniendo una resistencia mecánica adecuada.

## 2.5. Sistemas neumáticos

Los sistemas neumáticos constituyen la utilización de aire u otro gas como medio para la entrega de señales o potencia. Dentro de este tipo de sistemas, la tecnología es la encargada de aplicar el aire comprimido en la automatización industrial.

Los sistemas neumáticos se usan ampliamente en la automatización de maquinaria. Los circuitos neumáticos convierten la energía del aire comprimido en energía mecánica. En los sistemas neumáticos, el movimiento de los actuadores es más rápido que los actuadores hidráulicos (Castiñeira).



**Figura 2-13.** Componentes de un sistema neumático

Fuente: (R&J Trailers, 2002)

### 2.5.1. Actuadores

Los actuadores neumáticos se clasifican en cilindros, motores, actuadores rotativos y fuelles neumáticos. Los cilindros neumáticos son de diversos tipos y clases, cuya selección dependerá de la función que desarrollarán. Los cilindros neumáticos se componen de un cuerpo o carcasa, de un émbolo y de un vástago. Los parámetros principales para la selección de un cilindro neumático son: la carrera o longitud de corrido, presión de trabajo, fuerza de aplicación, simple o doble efecto. Los cilindros neumáticos también pueden venir equipados con mecanismos de amortiguamiento a la salida y al retorno del pistón. Ante cualquier duda respecto de la selección, instalación y construcción de un cilindro neumático conviene consultar a un proveedor o fabricante (Roldán, 1989).



**Figura 2-14.** Cilindro neumático y sus accesorios

Fuente: (NeumáticaR)

El consumo de aire de un cilindro neumático está dado por la siguiente ecuación según (Roldán, 1989):

$$V = pL(A_s - A_r) \quad \text{Ecuación (9)}$$

**Donde:**

$V$  Es el consumo de aire [N l/min]

$p$  Es la presión de trabajo [N/mm<sup>2</sup>]

$A_s$  Es el área de empuje a la salida del vástago (área del pistón) [mm<sup>2</sup>]

$A_r$  Es el área de empuje al retorno del vástago (área del pistón menos área del vástago) [mm<sup>2</sup>]

La fuerza teórica del émbolo se calcula con la siguiente fórmula:

$$F = pA \qquad \text{Ecuación (10)}$$

**Donde**

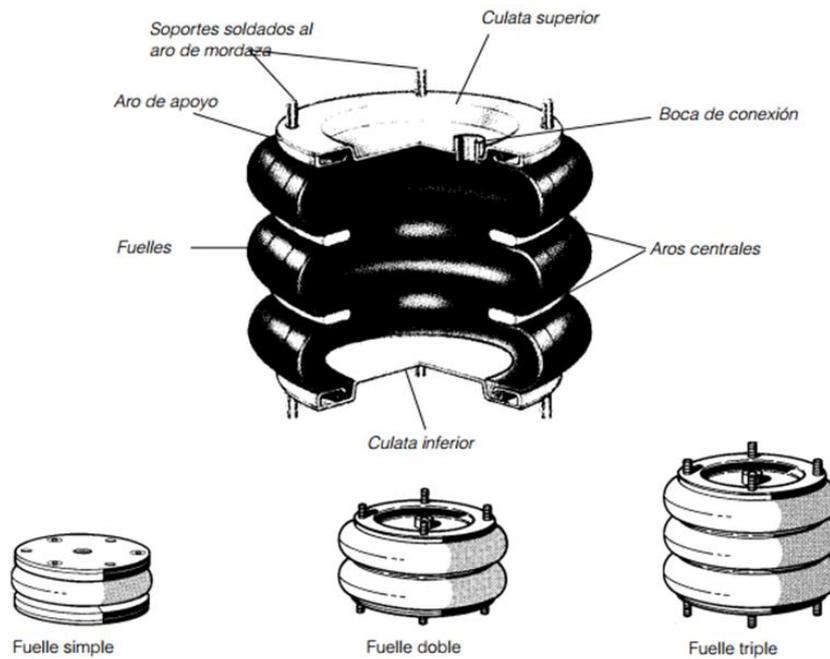
$F$  Es la fuerza [Pa]

$p$  Es la presión de trabajo [N]

$A$  Es el área de empuje que puede ser de ida o retorno [mm<sup>2</sup>]

**2.5.2. Cilindros de fuelle**

Según lo establecido por (Cilindros de fuelle neumáticos , 2012) los cilindros de fuelle son ideales para el uso de diseños cuyos requerimientos necesitan carrera corta, mucha fuerza y simple efecto. Para la fabricación de los cilindros de fuelle, se utiliza básicamente caucho sintético reforzado con textil, este elemento no contiene ningún tipo de metal de manera que realizan su trabajo sin riesgos a fricciones como las que sufren los cilindros normales.



**Figura 2-15.** Cilindros de Fuelle

Fuente: (Cilindros de fuelle neumáticos , 2012)

Por la naturaleza flexible del cilindro de fuelle no se necesita un nivel de precisión alta al momento de realizar el montaje respectivo, estos pueden ser utilizados con un ángulo de hasta 15 grados, entre las culatas.

Según lo dispuesto por (Cilindros de fuelle neumáticos , 2012), para el funcionamiento de los cilindros de fuelle se debe considerar:

Cuando los cilindros de fuelle están bajo presión actúan según la ley de menor esfuerzo. Por eso, en las aplicaciones inclinadas es importante tener en cuenta la geometría de montaje. Un cilindro que no está bajo presión se puede montar en espacios realmente pequeños, lo que es especialmente útil para sujetar o transportar cargas con formas especiales o muy pesadas. Es importante recalcar que el cilindro no llegue a su máxima extensión ni toque fondo.

#### 2.5.2.1. Ventajas de los cilindros de fuelle

A continuación se presentan las diferentes ventajas existentes de los cilindros de fuelle, de acuerdo con la percepción de (Firestone, 2013), son las que se detallan:

- **Bajo coste:** Generalmente este tipo de cilindro cuesta menos que un cilindro neumático o hidráulico convencional
- **Gama de espesores o anchuras:** Existe disponibilidad de cilindros de fuelle desde los 90 hasta los 940 mm de diámetro con una capacidad de fuerza de 450 kN
- **Duración:** Los cilindros de fuelle tienen una longeva vida útil
- **No necesitan lubricación ni mantenimiento:** Ya que el mismo no contiene barras, pistones ni juntas de deslizamiento, por lo tanto no es necesario lubricación ni mantenimiento.
- **Sin fricción** para una respuesta inmediata
- **Medios flexibles:** Ya que el cilindro de fuelle puede trabajar con líquido o gas, por lo tanto se observa la flexibilidad existente.
- **Capacidad Angular:** Ya que presenta la capacidad de carrera en arco sin amarre giratorio, con un movimiento angular máximo de hasta 30 grados.
- **Tolerancia a la carga lateral:** Diferente a los cilindros convencionales, estos no se ven afectados por las cargas laterales.
- **Altura de comienzo compacta:** El cilindro de fuelle más pequeño (90 mm de diámetro) se comprime hasta 38 mm de altura, mientras que el de 940 mm de diámetro se comprime hasta unos muy compactos 140 mm.

#### *2.5.2.2. Procedimiento de selección de fuelles neumáticos*

Para seleccionar de manera correcta los fuelles neumáticos, es necesario que se continúe con el siguiente procedimiento:

**Tabla 2-1.** Procedimiento de selección de fuelles neumáticos

<b>Proceso</b>	<b>Descripción</b>
<b>Carrera</b>	Para determinar la capacidad de carrera es necesario que se determine la diferencia entre la altura máxima utilizable y la altura mínima. Es necesario considerar que para carreras desde menos de 77 mm hasta 105 mm, lo más óptimo es la utilización de piezas con un fuelle.
<b>Fuerza</b>	Generalmente la fuerza disminuye al aumentar la altura, por lo tanto se dispone de 8 BAR, divida la fuerza por 8 BAR y multiplíquela por la presión que dispone, si la carrera se encuentra en un rango de estos valores se puede estimar el valor mediante una interpolación lineal.
<b>Datos dimensionales</b>	Es importante que se compruebe que la pieza seleccionada cubrirá el espacio que dispone, es decir, cuanto mayor sea el diámetro de la pieza mayor es la fuerza necesaria; así también mientras mayor la carrera mayor la altura mínima.
<b>Selección de cierres y el tamaño de la entrada de aire</b>	La gran mayoría de fuelles neumáticos se encuentran disponibles con placas fijadas permanentemente o bien dispositivos de anillo de cierre.

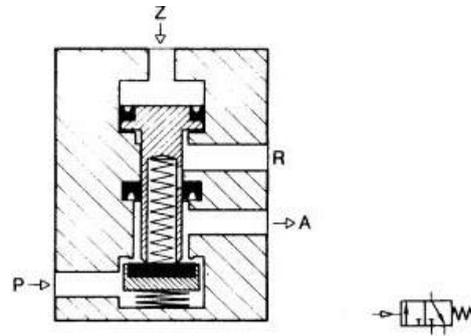
Fuente: (Firestone, 2013)

Elaborado por: Autor

### **2.5.3. Válvulas distribuidoras**

Las válvulas distribuidoras son elementos que establecen el camino que debe tomar la corriente de aire en dependiendo de la trayectoria del actuador.

Principalmente estas válvulas distribuidoras son utilizadas para poner en marcha, parar o dar sentido a los actuadores. Las válvulas distribuidoras más usadas habitualmente, desde un punto de vista funcional, son las válvulas 2x2 (2 vías y 2 posiciones) y 3x2 (3vías y 2 posiciones) (Creus, 2013).



**Figura 2-16.** Válvula Distribuidora 3x2 monoestable con pilotaje neumático

Fuente: (Creus, 2013)

Las válvulas distribuidoras usan señales de control para cambiar de posición y por tanto de dirección del aire comprimido haciendo que el vástago de un cilindro salga o retorne. Estas señales pueden ser de tipo neumático, eléctrico, manual o una combinación de estos. Pueden ser monoestables y biestables.

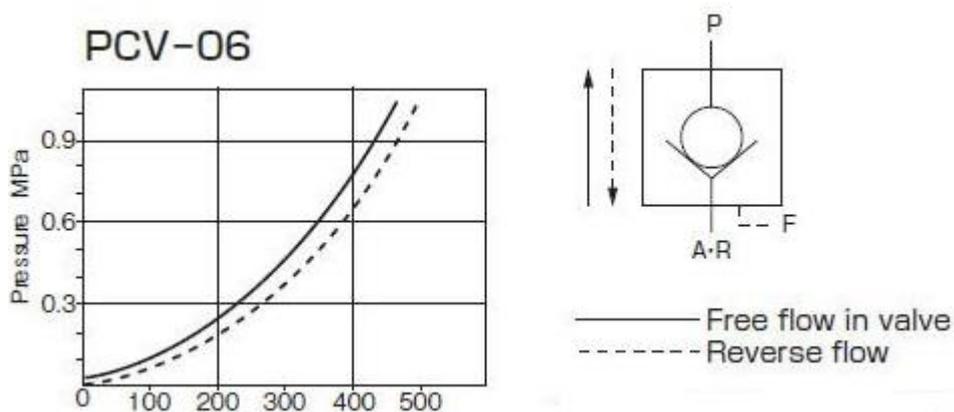
- **Monoestable** se refiere que para cambiar la posición de una válvula es necesario contar con una señal permanente y al desaparecer, el muelle regresa a su posición original.
- **Biestable** o conocida también como válvula memoria; ésta representa a una válvula con señales, una para cada posición.

#### 2.5.4. Válvulas y otros accesorios

El sistema neumático está compuesto por diversos componentes, pero al momento de selección y el diseño son utilizados los que satisfacen las necesidades de lo requerido. Las características de caudal y caída de presión de cada accesorio tienen el mismo comportamiento. A continuación, se mencionan algunos componentes (Hesse, 2015).

- **Válvula anti-retorno:** Esta válvula es utilizada principalmente para dirigir el caudal de aire en una sola dirección. Una de las principales aplicaciones son el bloqueo de los actuadores neumáticos y el retorno rápido.
- **Reguladores de caudal:** Producen un estrangulamiento en las líneas que se dirigen hacia los actuadores. De esta manera se puede regular la velocidad del actuador.
- **Silenciadores:** Estos tienen como finalidad disminuir el ruido al momento en que el aire se escapa a la atmosfera.
- **Tubería:** Su función es la de soportar la presión del sistema.
- **Unidad de filtro, secador y lubricador:** Este componente tiene como principal función la conservación de los elementos neumáticos como válvulas distribuidoras y actuadores.

Cualquier accesorio presenta una curva típica caída de presión – caudal, por lo general dada por el fabricante. Este dato es fundamental para el diseño del sistema neumático y para la selección del compresor. La Figura 2-17 muestra las curvas caída de presión versus caudal para una válvula anti-retorno.



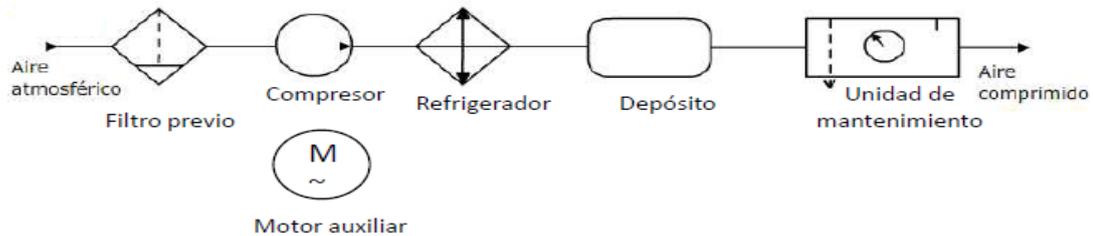
**Figura 2-17.** Curva de caída de presión vs caudal para válvula anti retorno

Fuente: (Mechatronics4U, 2016)

### 2.5.5. Compresor

Básicamente la función es de suministrar la presión necesaria al aire para que pueda circular por el circuito. Dentro de este grupo se encuentra el filtro de aire aspirado, grupo motocompresor, refrigerador, válvula anti-retorno, acumulador

de aire, válvula de seguridad-limitador de presión, purgador manual, presóstato y unidad de mantenimiento (filtro-indicador de presión-engrasador). La presión típica aplicada a un sistema neumático es de 4 a 6 bares (Roldán, 1989).



**Figura 2-18.** Grupo compresor

Fuente: (Roldán, 1989)

La potencia de un compresor puede estimarse a través de un balance de energía o de un ciclo termodinámico. Esto es recomendable debido a que el aire comprimido tiende a sufrir variaciones importantes de presión y temperatura. Considerando al compresor como una máquina térmica que trabaja en un ciclo poli trópico (Çengel, y otros, 2011), se tiene:

$$W_c = \frac{n}{n-1} RT_1 \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] \quad \text{Ecuación (11)}$$

**Donde:**

$W_c$  Es la potencia del compresor [lb.Pie]

$n$  Es el exponente politrópico para el aire,

$p_1$  Es la presión de admisión al compresor [PSI]

$p_2$  Es la presión de salida desde el compresor hacia el sistema neumático [PSI]

$T_1$  Es la temperatura de admisión [°R]

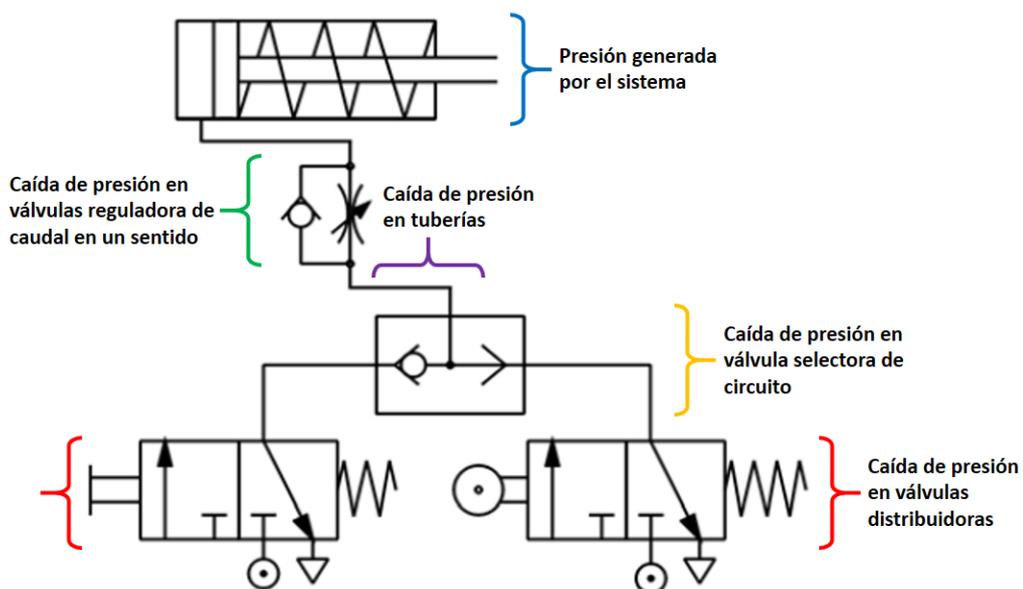
$R$  es la constante del gas ideal para el aire.

### 2.5.6. Diseño de un sistema neumático

Un sistema neumático es considerado como un sistema de fluidos de potencia. Los sistemas de fluido de potencia no operan con un flujo estable a diferencia de los sistemas estudiados en la mecánica de fluidos convencional. Por tanto, es común que para estudiar un sistema neumático se utilicen métodos de cálculo que son recomendaciones de los fabricantes, pues las propiedades y factores son inherentes a cada dispositivo. Sin embargo, los principios de pérdida de energía en mecánica de fluidos también pueden ser empleados. La pérdida de energía se debe tratar en función del cambio de dirección, tamaño de la trayectoria del flujo, restricciones por el empleo de las válvulas y fricción conforme el aire se mueve a través de ductos y tuberías (Mott, 2006).

### 2.5.7. Pilotaje de sistemas neumáticos

El movimiento automático de los actuadores puede realizarse a través de secuencias bien establecidas y técnicas que ayuden a comandar cada etapa de la secuencia. Independiente del tipo de pilotaje; eléctrico, neumático, o mecánico, las técnicas de automatización establecen los pasos y elementos necesarios para su funcionamiento secuencial.



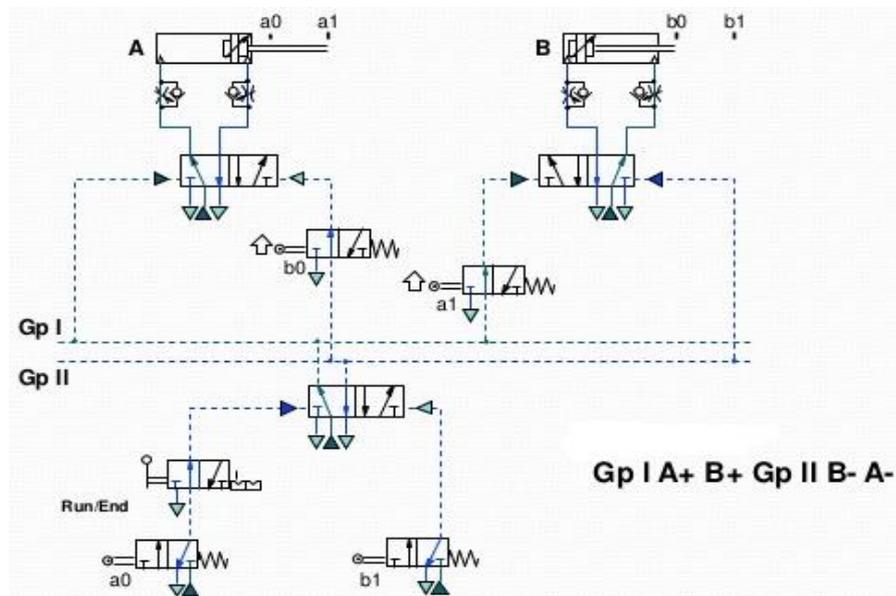
**Figura 2-19.** Caídas de presión en un sistema neumático consideradas para su diseño

Fuente: Autor

En el caso de sistemas automotrices es más común la automatización con pilotajes neumáticos, debido a la facilidad de instalación de un sistema de aire comprimido. Existen varias técnicas para cumplir esta tarea, así lo menciona (Creus, 2013) :

- Método de la cascada
- Método paso a paso
- Secuenciadores
- Diagramas de Karnaugh-Veitch (K-V)

El **método de la cascada** básicamente utiliza dos conjuntos de válvulas direccionales, la principal función de este método, es que las válvulas eliminen la presión en una línea y den presión a otra línea al pasar de un grupo de secuencia de movimientos a otro.

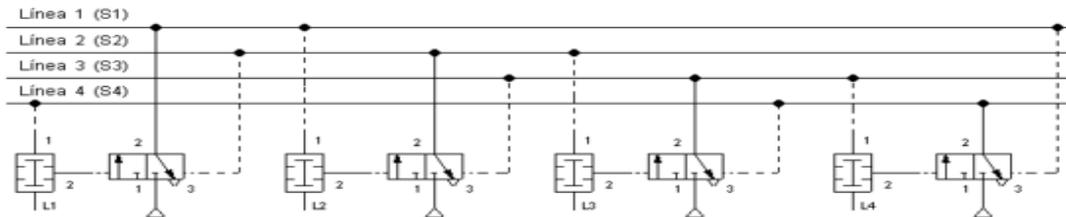


**Figura 2-20.** Método de la cascada secuencial A+/B+/B-/A-

**Fuente:** (Aplicación del Método Secuencial en la Solución de Problemas de Electroneumática, 2009)

El **método paso a paso**, es llamado así porque un grupo es activado por el anterior y desactivado por el siguiente, es decir existe una secuencia, buscando que el número de grupos sea el menor posible. En caso de existir repetición en el orden, se procederá a utilizar una o varias válvulas de manera simultánea intercaladas entre la válvula correspondiente. El método paso a paso es

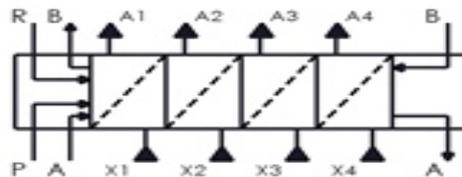
aparentemente sencillo, pero se complica si hay movimientos repetidos en la secuencia que obligan a utilizar una o varias válvulas de simultaneidad, por lo que es aconsejable complementarlo con métodos intuitivos.



**Figura 2-21.** Sistema pasó a paso de cuatro líneas de simultaneidad

Fuente: (Automation Studios)

El método del secuenciador es recomendable la utilización de este método cuando se encuentra frente a circuitos secuenciales complejos, que tienen movimientos repetitivos durante el desarrollo de la secuencia, ya que este método utiliza circuitos secuenciadores, además cuenta con un módulo inicial el mismo que recibe los escenarios iniciales de la secuencia tanto al inicio como al final de la misma, indicando que ha finalizado satisfactoriamente.



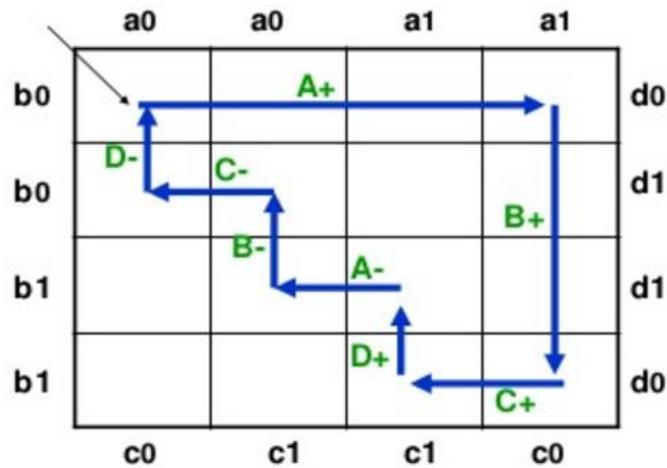
**Figura 2-22.** Secuenciador de cuatro etapas

Fuente: (Automation Studios)

Dónde: P=aire comprimido, Y=señal que activa el primer módulo, Z=señal que anula el último módulo, R=reset que apaga todos los módulos.

El **diagrama de Karnaugh-Veitch**, es utilizado generalmente cuando se necesita simplificar problemas de control. Este método permite tener un panorama general de estado y de las señales de control de manera rápida y fácil, además cuenta con un gran número de variables de control distinguidas entre modos algebraicos y lógico binario. Partiendo del diagrama se puede realizar varias combinaciones de ecuaciones booleanas y transformándole en conjunto

para posteriormente minimizar la misma mediante la aplicación de las reglas básicas de álgebra, con el fin de formar una ecuación final de manera más sencilla (Majumdar, 2015).



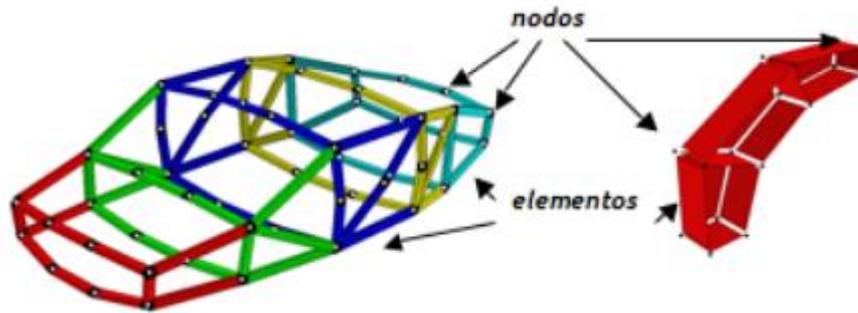
**Figura 2-23.** Diagrama K-V para un sistema neumático de 4 cilindros

Fuente: (Majumdar, 2015)

## 2.6. El método del elemento finito

El método del elemento finito (FEM), consiste en la resolución de ecuaciones diferenciales, básicamente se basa en dividir del cuerpo sobre el que están definidas algunas ecuaciones que pueden ser diferenciales o integrales, que caracterizan el comportamiento físico del problema (Figura 2-24), en una serie de subdominios denominados elementos finitos. Esta partición del dominio se denomina discretización (Ferreira, 2009).

Dentro de cada punto existe una serie de puntos que son los denominados “nodos”; dos nodos se consideran contiguos en caso de pertenecer al mismo elemento finito; recalando que un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos es conocido como malla, y los cálculos se llevan a cabo sobre mallas discretizadas a partir del dominio con programas generadores de mallas.



**Figura 2-24.** Dominio discretizado para análisis mediante elementos finitos

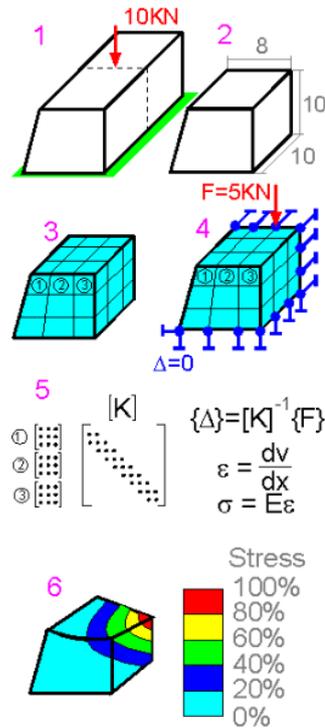
Fuente: (Universidad Nacional Autónoma de México)

Generalmente, el método del elemento finito es programado computacionalmente para calcular un campo de desplazamientos y, posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas (mecánica del medio continuo), las deformaciones y tensiones respectivamente, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables, como el caso de una estructura para remolque. Este tipo de método es muy usado ya que por la amplitud y facilidad de uso, es más sencillo introducir dominios complejos en una, dos o tres dimensiones.

Para la resolución de un problema estructural es necesario realizar los siguientes pasos (Ferreira, 2009),

- 1) Identificación del problema, y dibujar la estructura y cargas.
- 2) Crear la geometría usando un programa CAD o directamente en el módulo correspondiente de un paquete de elementos finitos.
- 3) Mallar el modelo.
- 4) Aplicar las condiciones de frontera (restricciones y cargas) sobre el modelo.
- 5) Resolver numéricamente los sistemas de ecuaciones (automáticamente).
- 6) Analizar los resultados para entendimiento, evaluación, y tomas de decisiones.

Los pasos 1, 2, 3, 4 son conocidos como etapa de pre-procesamiento, el paso 5 es el procesamiento y el paso 6 es llamado post-procesamiento.



**Figura 2-25.** Pasos para resolver un problema mediante el método del elemento finito

Fuente: (Kokch, Rusia, 2011)

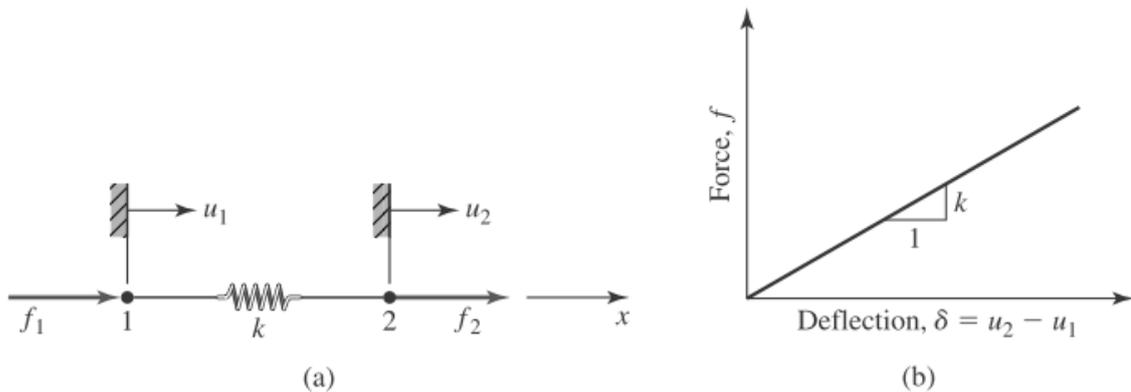
### 2.6.1. Método de rigidez

El método de rigidez brinda un entendimiento más amplio del método de elementos finitos. Se define como matriz de rigidez al elemento  $[K]$ , el cual es la matriz que conforma la ecuación (12) donde  $[K]$  se relaciona con las coordenadas locales de desplazamiento  $\{x\}$  en donde afectan las fuerzas  $\{f\}$  para un solo elemento.

$$[K]\{x\} = \{f\} \quad \text{Ecuación (12)}$$

En un medio continuo o una estructura compuesta por una serie de elementos elásticos, la matriz de rigidez  $[K]$  relaciona las coordenadas globales  $(x, y, z)$ , los desplazamientos nodales y las fuerzas globales de todo el medio o la estructura. Es importante recalcar que esta matriz global está referenciada a la matriz que se describe el comportamiento local para cada elemento que conforma todo el sistema (Hutton, 2004).

Por ejemplo, para un elemento tipo resorte la Figura 2-26 representa la discretización y el comportamiento lineal del elemento.



**Figura 2-26.** (a) Elemento tipo resorte con sus nodos, desplazamientos y cargas nodales (b) Grafica fuerza vs deformación lineal

Fuente: (Hutton, 2004)

La ecuación de rigidez que gobierna a un elemento tipo resorte es:

$$\begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} \quad \text{Ecuación (13)}$$

**Donde:**

$k$  Es la rigidez del elemento,

$x_i$  Es el desplazamiento del nodo 1 y 2,

$f_i$  Es la fuerza en los nodos 1 y 2.

De idéntica forma se pueden crear los sistemas de ecuaciones para otro tipo de elemento como barras, armaduras, vigas, columnas, entre otros. Inclusive se pueden considerar varias dimensiones y variables en el tiempo.

En la actualidad existen diferentes programas y paquetes informáticos que facilitan aún más el uso del método finito para la resolución de problemas. En función de la necesidad se seleccionara el programa adecuado para la resolución del problema numérico. Así mismo existen programas de uso exclusivo para

mallados, procesamiento y programas para post-proceso. En los últimos años la corriente de código abierto ha ido acrecentándose más y más, lo que ha permitido la disponibilidad de una gran gama de este tipo de programas.

A continuación, se describe una lista de programas de análisis por elementos finitos, tanto de código abierto como comerciales:

### **Código libre o abierto**

- **Calculix:** genera archivos compatibles con ABAQUS
- **Code Aster:** resuelve problemas de ingeniería civil y estructural
- **DUNE:** programa escrito en C++
- **Elmer FEM solver:** software de simulación multifísica
- **Impact:** programa para análisis dinámicos tales como impactos
- **OpenFOAM:** programa para análisis de fluidos

### **Programas comerciales**

- **ABAQUS:** software franco-americano de altas prestaciones para sistemas mecánicos y físicos.
- **ANSYS:** software para problemas lineales y no lineales físicos y de ingeniería.
- **COMSOL Multiphysics:** software de simulación multifísica con altas prestaciones.
- **FEMtools:** herramientas para simulación estática y dinámica para optimización estructural.
- **SAP2000:** programa especialista en estructuras metálicas.

## **CAPÍTULO III**

### **3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**

De acuerdo al autor Romeva (2002), para el desarrollo del remolque con circuitos móviles se debe utilizar un proceso de diseño que consta de cuatro etapas:

- Etapa 1. Definición del producto
- Etapa 2. Diseño conceptual
- Etapa 3. Diseño de materialización
- Etapa 4. Diseño de detalle

#### **3.1. Definición del producto**

En esta fase se establece con la claridad el requerimiento del diseño y construcción de un remolque móvil con circuitos neumáticos para el transporte de un peso de máximo de dos toneladas, a partir de esta necesidad se establecen las especificaciones requeridas y deseadas por el diseñador.

##### **3.1.1. Definición del problema**

En varios países del mundo se utilizan remolques porque son útiles, pues ahorran mucho tiempo evitando viajes extras de vehículos y conductores, disminuyen la cantidad de vehículos circulando por las calles, se aprovecha un solo motor del carro impulsor con lo cual con un poco de gasto adicional de combustible se puede llevar una carga mayor en peso o en volumen al lugar que se requiera.

##### **3.1.2. Necesidades del cliente**

Mediante la estructura de la siguiente tabla, se mencionará los requerimientos que nuestro remolque debe cumplir.

**Tabla 3-1. Matriz de Decisión**

<b>CONCEPTO</b>	<b>REQUERIMIENTO</b>
<b>FUNCIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir los riesgos que implican la utilización de un remolque.</li> <li>• Tener la posibilidad de bajar al nivel del piso para que los objetos deseados puedan subir de una manera más eficiente, segura.</li> <li>• Regular su suspensión hasta una altura adecuada para su movilización hacia el lugar deseado.</li> <li>• Eliminar el esfuerzo físico realizado por el propietario.</li> <li>• Capacidad de carga máxima de 2 toneladas.</li> </ul>
<b>DIMENSIONES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decreto ejecutivo 1137 Reforma reglamento ley de caminos.</li> </ul>
<b>FUERZA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La fuerza la proporcionara el vehículo de arrastre.</li> </ul>
<b>ENERGÍA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La proporcionara un acumulador de energía de 12 voltios de corriente continua</li> </ul>
<b>MATERIALES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utilizará los materiales existentes en el mercado nacional.</li> </ul>
<b>CONTROL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se controlará el mecanismo de elevación mediante pulsadores instalados en el remolque.</li> </ul>
<b>FABRICACIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos los elementos estructurales que componen nuestro remolque deben ser de construcción nacional.</li> </ul>
<b>VIDA ÚTIL Y MANTENIMIENTO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poseer las facilidades necesarias para realizar su respectivo mantenimiento preventivo y correctivo de ser el caso.</li> </ul>
<b>COSTOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El coso de fabricación debe estar acorde a la funcionalidad que este va a brindar.</li> </ul>
<b>SEGURIDAD</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El propietario debe realizar operaciones mínimas para el proceso de cara y descarga de los objetos.</li> <li>• Proporcionar un riesgo cero al momento de su utilización.</li> </ul>

Fuente: Autor

### **3.1.3. Desarrollo de la función de la calidad (QFD)**

El desarrollo de la función de la calidad o QFD (Quality Function Deployment), por sus siglas en inglés, tienen como objetivo considerar los requerimientos del cliente en la definición del producto. Su desarrollo se compone de:

- Planificación del producto
- Despliegue de componentes
- Planificación del proceso
- Planificación de la producción (Romeva, 2002).

### **3.1.4. Casa de la calidad**

Este desarrollo se traduce a los requerimientos o demandas del cliente en especificaciones técnicas del remolque. Este desarrollo consta de 6 pasos.

- Voz del usuario
- Análisis de competitividad
- Voz del ingeniero
- Correlaciones
- Comparación técnica
- Compromisos técnicos

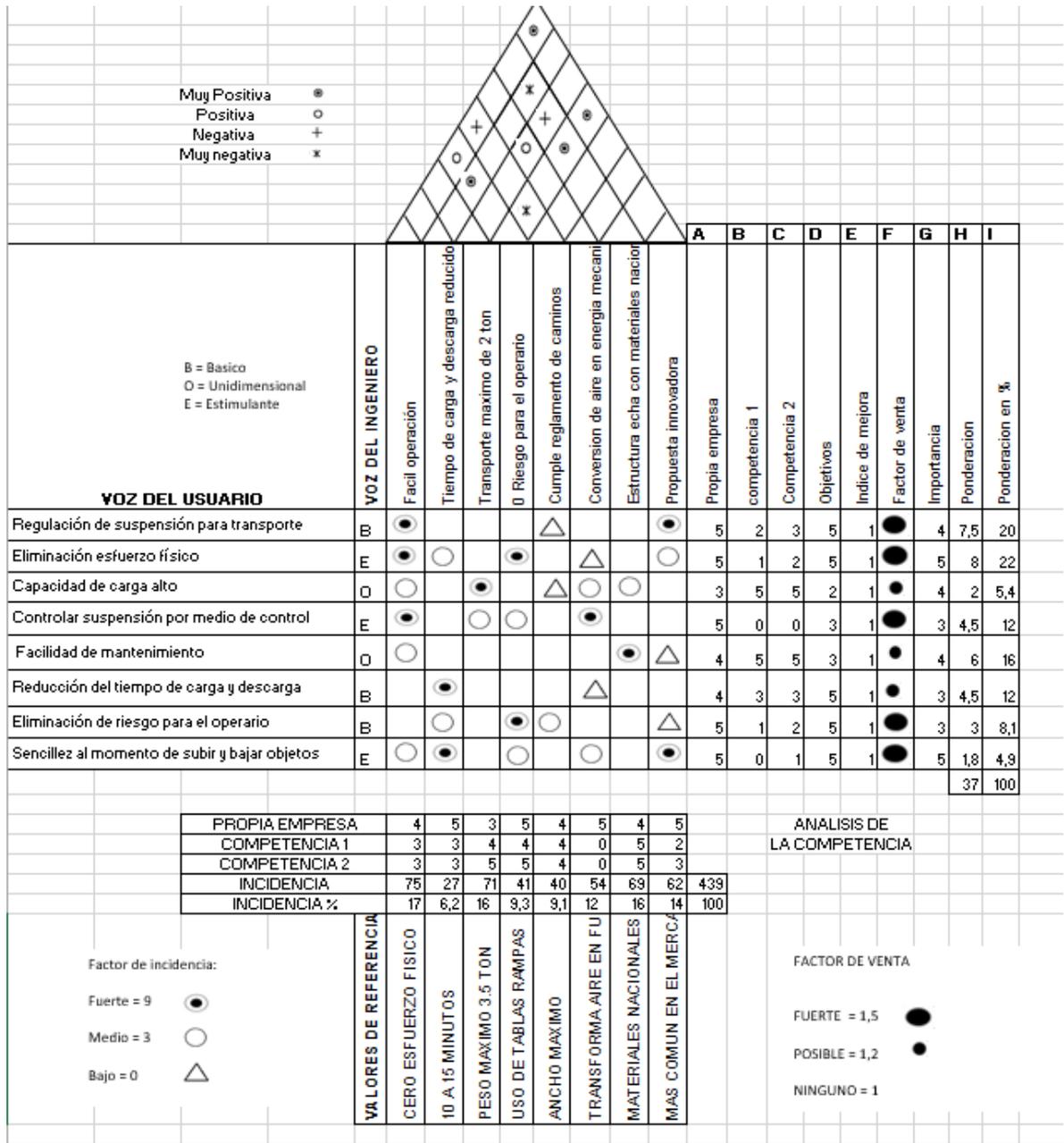


Figura 3-1. Casa de la Calidad

Fuente: Autor

**a) Voz del usuario:** en esta etapa se toma a consideración todos los requerimientos del cliente los mismos que están agrupados por categorías, diferenciando tres tipos de requerimientos.

Según, (Sánchez, 2015) los requerimientos del cliente se establecen por tres tipos y son los siguientes:

- Demandas básicas: Son aquellas que el usuario no las exige por ser obvias, pero en su ausencia genera insatisfacción al cliente.
- Demandas unidimensionales: Al mejorar este tipo de demandas aumenta la satisfacción del cliente.
- Demandas estimulantes: Son aquellas que diferencian al producto de la competencia y en su ausencia no producen insatisfacción al cliente.

**b) Análisis de competitividad:** en esta etapa se tomará en cuenta el grado de satisfacción de cada requerimiento del producto de la competencia.

**c) Voz del ingeniero:** resulta el reto principal ya que se debe traducir la demanda del cliente en especificaciones o características técnicas, las mismas que están detalladas en el alcance del proyecto.

**d) Correlaciones:** Combina los requerimientos que el cliente tiene con cada una de las características técnicas; en otras palabras, evalúa los requerimientos con las especificaciones técnicas elegidas para el diseño.

**e) Comparación Técnica:** esta etapa se coteja el producto que se está ofreciendo con los existentes en el mercado.

**f) Compromisos técnicos:** Representa el techo de la casa de la calidad establece la correlación entre los requerimientos técnicos, se puede dar tres casos:

- Correlación positiva: Al mejorar una característica se mejora también otra
- Correlación negativa: Al mejorar una característica técnica empeora otra.
- Sin correlación: dos características que no tienen influencia mutua

La figura 3-1 representa el análisis de la casa de la calidad para el tema planteado, Tomando en cuenta las características más importantes que se deben desarrollar.

- Eliminar el esfuerzo físico realizado por el propietario.
- Capacidad de carga máxima de 2 toneladas

- Proporcionar un riesgo cero al momento de su utilización.
- Reducción del tiempo de carga y descarga

### 3.2. Diseño conceptual

Para especificar de manera concisa los requerimientos necesarios, se presenta la siguiente tabla:

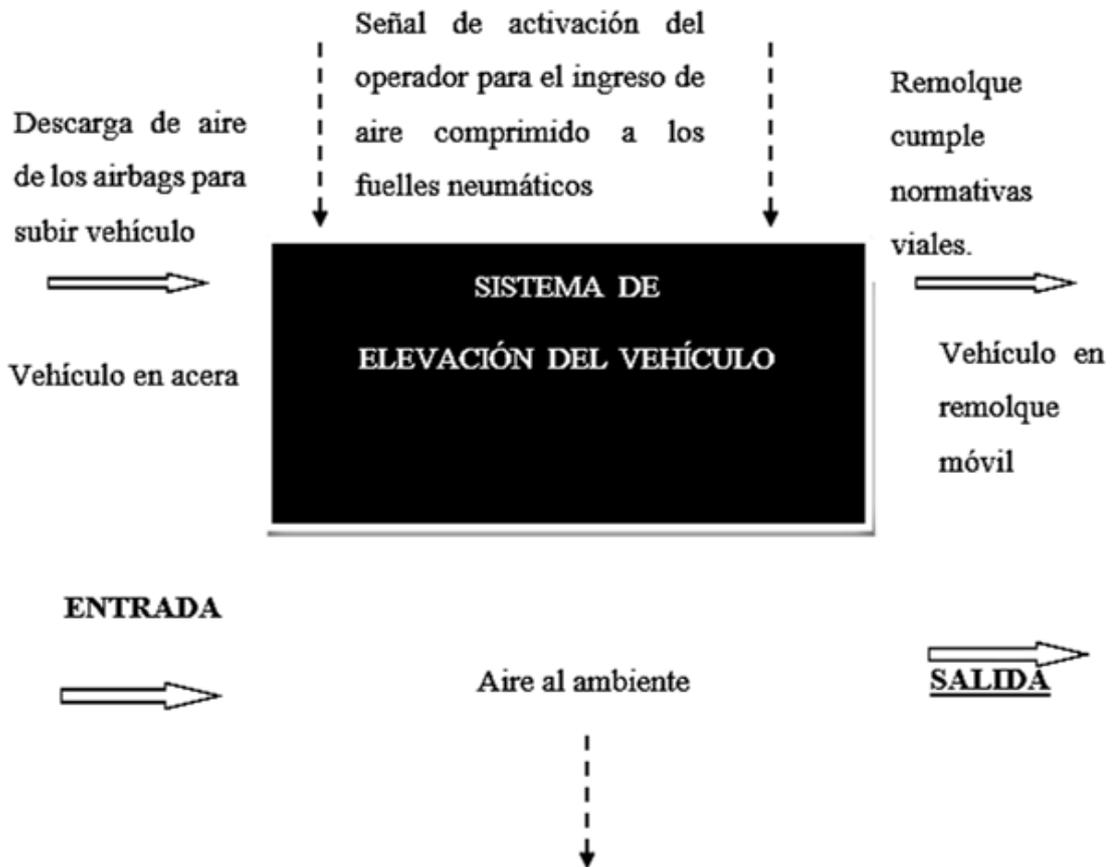
**Tabla 3-2.** Especificaciones para el diseño

<b>DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REMOLQUE MÓVIL CON CIRCUITOS NEUMÁTICOS PARA EL TRANSPORTE DE UN PESO MÁXIMO DE DOS TONELADAS</b>			
<b>ESPECIFICACIONES INICIALES</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>I</b>	<b>R/D</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>CAPACIDAD DE CARGA</b>	I	R	Se requiere llevar cargas máximas de dos toneladas de un lugar a otro.
	I	D	Se desea buscar que el transporte de la carga sea económico, eficiente y seguro.
<b>ELEVACIÓN DE CARGA</b>	I	R	Se requiere que el remolque cumpla con normativas nacionales e internacionales en su diseño, respecto a las dimensiones admisibles.
	I	D	Se desea que la carga transportada sea auto elevada al remolque.
<b>ERGONOMÍA Y SEGURIDAD</b>	I	R	Se requiere que la persona que va a transportar la carga, realice el menor esfuerzo físico posible, evitando lesiones lumbares o golpes.
	I	R	Se requiere reducir a cero el riesgo que implica subir un objeto a un remolque por medio de rampas.

I = Ingeniero, R = Requerido, D = Deseado.

Fuente: Autor

Después de haber especificado los requerimientos iniciales, es necesario definir la estructura funcional del remolque, para sistematizar el proyecto se utiliza la caja negra de funciones que se muestra a continuación:



**Figura 3-2.** Caja negra de Funciones

Fuente: Autor

En la Figura 3-2, se observa que teniendo un buen diseño conceptual, ingeniería básica y detalles de construcción se podrá construir un remolque móvil que será elevado por circuitos neumáticos para el transporte de cargas máximas de 2 toneladas.

Luego posicionándolo al remolque para recibir la carga de máximo 2 Toneladas, se coloca la carga en la plataforma por medios mecánicos, se acciona el compresor para dar paso al aire comprimido que llenarán los fuelles neumáticos elevando la plataforma con la carga incluida, pasando de un nivel del suelo a un nivel requerido para transporte, luego de asegurar la carga a la plataforma se

procederá con el transporte de la carga al lugar que se desea con un mínimo esfuerzo físico humano, teniendo beneficios en salud, tiempo y dinero.

Para dar una mayor idea y entrar en detalles se observa la estructura funcional en la figura 3-3, en donde se explica de forma clara y concisa el funcionamiento del remolque móvil con circuitos neumáticos para el transporte de un peso máximo de 2 Toneladas.



**Figura 3-3.** Estructura Funcional

Fuente: Autor

El esquema mostrado en la Figura 3-3, indica que el proceso inicia con el cumplimiento de las funciones del operario, estas consisten en la preparación del remolque para subir la carga a la plataforma, para lo cual se debe colocar la rueda de soporte y enganchar el remolque al vehículo que lo va a impulsar.

Posteriormente, se posiciona la carga en la plataforma verificando que el peso de la carga esté distribuido uniformemente a lo largo de la plataforma, para no tener vibraciones y tambaleos durante el transporte, luego la carga de máximo 2 toneladas se la debe asegurar con correas o eslingas a los puntos de sujeción.

El proceso continúa con el encendido del compresor y se debe esperar a que el aire llegue a la presión requerida por el catálogo para introducir el aire a los fuelles neumáticos, una vez presurizado los fuelles el remolque se levanta del nivel del suelo con la carga al nivel requerido para transporte, se cierra la válvula para que no se pueda despresurizar los fuelles neumáticos. Se transporta la carga con un esfuerzo físico humano mínimo por la carretera al lugar que se lo

quiera llevar a la carga, una vez en el lugar se baja la rueda soporte y se descomprime los fuelles, la plataforma desciende al nivel del suelo, se baja la carga por medios mecánicos, se desengancha la plataforma del vehículo que lo transportó y se lo almacena hasta su próximo uso.

Se utiliza una matriz morfológica la cual nos ayuda a visualizar las mejores opciones para el diseño del remolque móvil con circuitos neumáticos para el transporte de un peso máximo de 2 toneladas.

**Tabla 3-3.** Alternativas de Diseño

FUNCIÓN	COMPONENTES		
	1	2	3
TIPO DE REMOLQUE	<p>Remolque simple de un eje</p> 	<p><b>Remolque de doble eje</b></p> 	<p>Remolque de doble eje con grúa</p> 
FUENTE DE ELEVACIÓN	<p>Por medio de rampas</p> 	<p>Hidráulicos</p> 	<p><b>Fuelles neumáticos</b></p> 
MÉTODOS DE SUJECCIÓN	<p>Grua</p> 	<p>Correas de sujeción</p> 	<p>Topes</p> 
TAREA DEL PROPIETARIO	<p>Esfuerzo humano</p> 	<p><b>Mando electrónico</b></p> 	

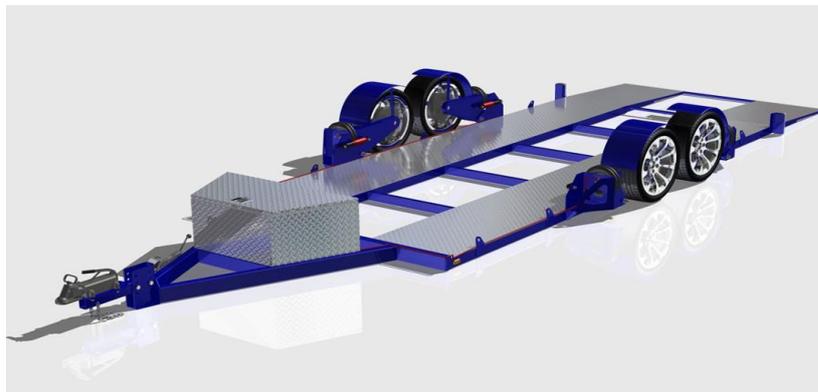
Fuente: Autor

De la matriz morfológica se obtienen varias alternativas, cabe resaltar que se presenta la alternativa que se considera de mejor desempeño, innovación, seguridad. La cual indicamos a continuación.

**Mejor desempeño:** Menor cantidad de tiempo para realizar la elevación, cero esfuerzos realizados por el propietario.

**Innovación:** Hace referencia, a la calidad del producto terminado, capacidad de los procesos, cumplimiento de metas y objetivos.

**Seguridad:** Contar con las medidas de seguridad y prevención para evitar cualquier tipo de daño al entorno y a la sociedad.



**Figura 3-4.** Remolque móvil con circuitos neumáticos para transporte de 2T

Fuente: (Fabplans 2016)

### 3.3. Variables de diseño

En el presente capítulo se analizará los tipos de mecanismos existentes para la trasportación de objetos sobre plataformas o remolques, se establece para el desarrollo la metodología de diseño, diseño conceptual y el análisis de alternativas para la construcción de un remolque móvil con circuitos neumáticos para el transporte de un peso máximo de hasta 2 toneladas.

#### 3.3.1. Método de selección

Para realizar la correcta selección de la alternativa que más se ajuste a las necesidades ya planteadas se utilizara el método de los factores, debido a que con este método se puede listar muchos aspectos o especificaciones técnicas

que a la larga pueden ser quienes califiquen las alternativas de construcción que se tiene.

### **3.3.2. Determinación del peso para cada uno de los parámetros**

Para la utilización de este método se detallará algunas especificaciones que se debe tener en cuenta para la selección.

- Capacidad de carga
- Riesgo para el operario
- Transportabilidad
- Tiempo de carga y descarga
- Costos
- Facilidad de operación

Cabe destacar que el orden anterior no influye en nada en la determinación del peso que se le a cada uno de los parámetros detallados.

#### *3.3.2.1. Capacidad de carga*

Se define como el peso bruto que va soportar el remolque; en nuestro caso el objetivo es soportar un vehículo de hasta 2000 kg.

En este caso la calificación que le asignamos a nuestro remolque es de 9 al igual que al remolque de doble eje con apoyo mecánico debido a que los dos pueden soportar una capacidad de carga elevada, siendo superior al remolque cerrado el cual tiene una calificación de 8, por la misma razón de ser cerrado no puede soportar cargas de elevado volumen.

#### *3.3.2.2. Riesgo para el operario*

Es aquél que puede producir lesiones debidas principalmente a los elementos móviles de la máquina, de las piezas o material con el que se trabaje. Obteniendo como resultado para nuestro remolque un riesgo casi inexistente.

En cuanto al riesgo para el operario se establece para el remolque móvil con circuitos neumáticos la calificación de 1, misma que es baja, esto se le atribuye a que la plataforma del remolque desciende totalmente al nivel del piso y el vehículo sube sin la necesidad de colocar rampas o tablas. Una vez el vehículo en el remolque el mecanismo de funcionamiento es accionado mediante un

control remoto electrónico que regula la altura de la plataforma para su movilización.

A diferencia de los dos remolques con los que se le comparo que necesitan colocar rampas o tablas para que el vehículo pueda subir a la plataforma, generando de esta manera la intervención humana en todo el proceso de carga y descarga de un vehículo y por ende más riesgo para el operador y el vehículo el cual se desee trasportar.

#### *3.3.2.3. Tiempo de carga y descarga*

Tiempo en minutos el cual se demora un vehículo en subir desde el piso al remolque, y este a una altura adecuada para su transporte.

En esta característica se le asigna un valor de 5 a nuestro remolque, siendo este un valor medio en cuanto al tiempo necesario para subir y bajar un vehículo a la plataforma,

#### *3.3.2.4. Costos*

Consiste en estimar los precios de los recursos necesarios (humanos y materiales) para completar las actividades del proyecto.

En cuanto a costos se establece que en nuestro remolque es elevado debido a que su sistema de elevación neumático posee elementos que lamentablemente no son de procedencia nacional lo cual incrementa el costo total; en comparación con los otros dos remolques en los cuales todos sus elementos y componentes se pueden adquirir en el mercado nacional

#### *3.3.2.5. Facilidad de operación*

Grado de dificultad que representa a los operadores aprender el proceso de manejo del sistema de un remolque.

En este caso nuestro remolque tiene una calificación de 9 debido a que su operación de carga y descarga es realizada mediante la utilización de un control remoto el cual hace que la plataforma descienda para subir o bajar un vehículo, y con el mismo control se le da una altura a la plataforma para su movilización; A diferencia de los otros dos remolques en los cuales se necesita manipular sus accesorios (rampas o tablas) para subir o bajar un vehículo.

### 3.3.2.6. Transportabilidad

Facilidad con la que el remolque puede ser movilizado de un lugar a otro distinto, se mide como comodidad, estabilidad al transitar por las vías.

En este factor el remolque móvil con circuitos neumáticos tiene la calificación de 8 al igual que el remolque de dos ejes con apoyo mecánico, debido a que los dos para el transporte no poseen una cubierta que proteja al vehículo que se está movilizandando dejando a la inclemencia de todos los factores externos medio ambientales. Por lo antes expuesto el remolque cerrado es superior debido a que posee una cubierta que protege al vehículo de todos los factores externos que se puedan presentar (lluvia, polvo, contaminación, etc.)

### 3.3.3. Evaluación de los factores

A cada una de las especificaciones se la evaluara sobre 10.

Donde:

**Tabla 3-4.** Evaluación de Factores

<b>Categoría</b>	<b>Evaluación sobre 10</b>
ALTO	8-10
MEDIANO	4-7
BAJO	1-3

Fuente: Autor

### 3.3.4. Matriz de decisión

Se procede a evaluar las siguientes alternativas:

- Remolque doble eje con apoyo mecánico
- Remolque cerrado
- Remolque móvil con circuitos neumáticos

**Tabla 3-5.** Matriz de Alternativas de selección

<b>ALTERNATIVAS</b> <b>CRITERIOS</b>	Remolque doble eje con apoyo mecánico	Remolque cerrado	Remolque móvil con circuitos neumáticos
Capacidad de carga	9	8	9
Riesgo para el operario	7	8	1
Tiempo de carga y descarga	4	4	5
Costos	6	7	9
Facilidad de operación	3	3	9
Transportabilidad	8	10	8
<b>TOTAL</b>	<b>6.2</b>	<b>6.7</b>	<b>6.8</b>
<b>ORDEN DE PREFERENCIA</b>	<b>3º</b>	<b>2º</b>	<b>1º</b>

Fuente: Autor

Del análisis de la Tabla 3-5 se obtiene el siguiente resultado:

1. Remolque con suspensión neumática
2. Remolque doble eje con apoyo mecánico
3. Remolque cerrado

#### *3.3.4.1. Análisis de la matriz*

De acuerdo al resultado de la matriz de decisión Tabla 3-5 se escoge para el diseño la opción Remolque móvil con circuitos neumáticos. Figura 3-4.

## CAPITULO IV

### 4. DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS PARA EL REMOLQUE

Una vez que se ha escogido la mejor opción para el diseño Figura 30. En este capítulo se detallara todas las actividades correspondientes al diseño de detalle y selección de elementos mecánicos que componen los diferentes sistemas de nuestro remolque.

#### 4.1. Dimensionamiento de la estructura

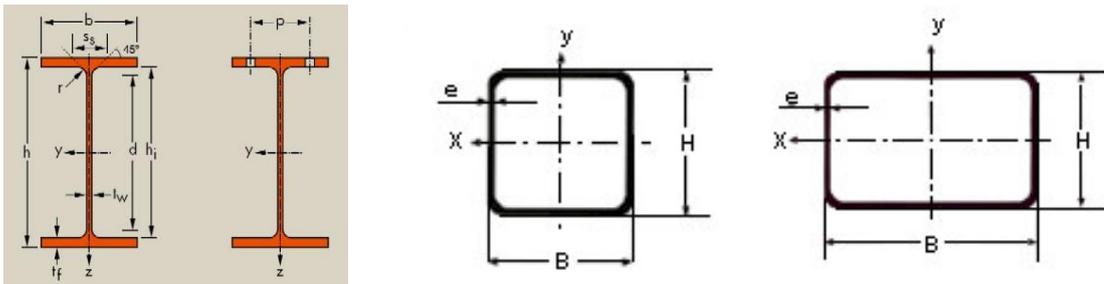
Se procedió con el dimensionamiento de los elementos que conformarán la estructura del remolque, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Dimensiones y peso de los autos a ser transportados con este remolque con fuelles neumáticos.
- Mínimo esfuerzo humano, al transportar vehículos gracias al uso de este remolque.
- Tipos de perfiles, su facilidad de encontrarlo en el mercado.
- Peso y resistencia de la estructura, calculada y simulada en programas CAD y elementos finitos.



**Figura 4-1.** Dimensiones promedio de vehículos a ser transportados

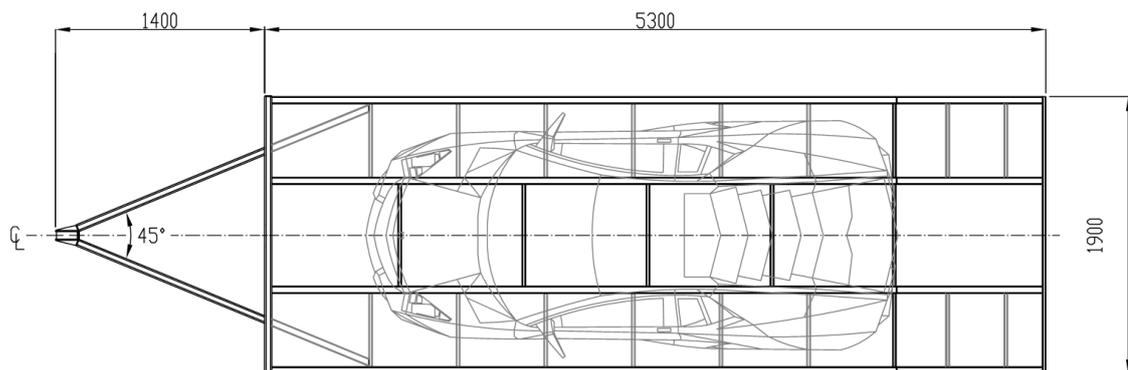
Fuente: (Ebay, 2016)



**Figura 4-2.** Perfiles existentes en el mercado ecuatoriano

Fuente: (Ebay, 2016)

Las dimensiones preliminares del remolque después de tomar las medidas de varios remolques y vehículos son las siguientes



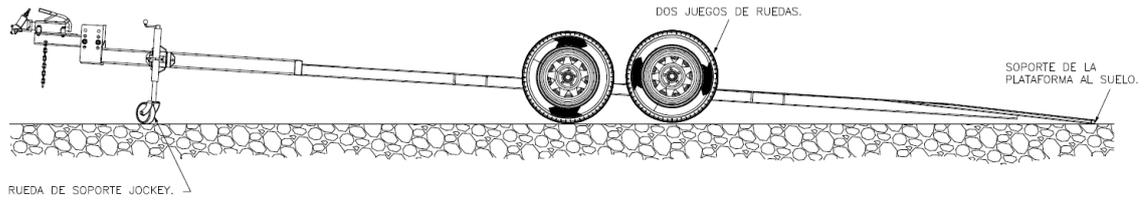
**Figura 4-3.** Vista Planta de remolque con dimensiones preliminares

Fuente: (Ebay, 2016)

## 4.2. Cálculos del remolque usando un perfil IPE 100

Para el análisis estructural del remolque utilizamos el software SAP2000 y se evalúa especialmente respecto a las relaciones de esfuerzo y deformaciones de los perfiles IPE 100.

Antes de ingresar los datos debemos determinar los puntos en donde se van a ubicar las ruedas y el inicio de la plataforma que va a estar soportada al suelo, que son nuestros puntos de soporte para el análisis en el software de análisis estructural.



**Figura 4-4.** Soportes de la plataforma

Fuente: Fabplans

El software primero calcula las fuerzas y momentos actuantes sobre cada elemento de la estructura y de los soportes, así como sus correspondientes capacidades de carga, luego se evalúan la relación de capacidad de carga en función de los datos de cargas asignadas, estas relaciones de capacidad se calculan usando las ecuaciones de los capítulos B, F, G y especialmente H del Manual de la AISC.

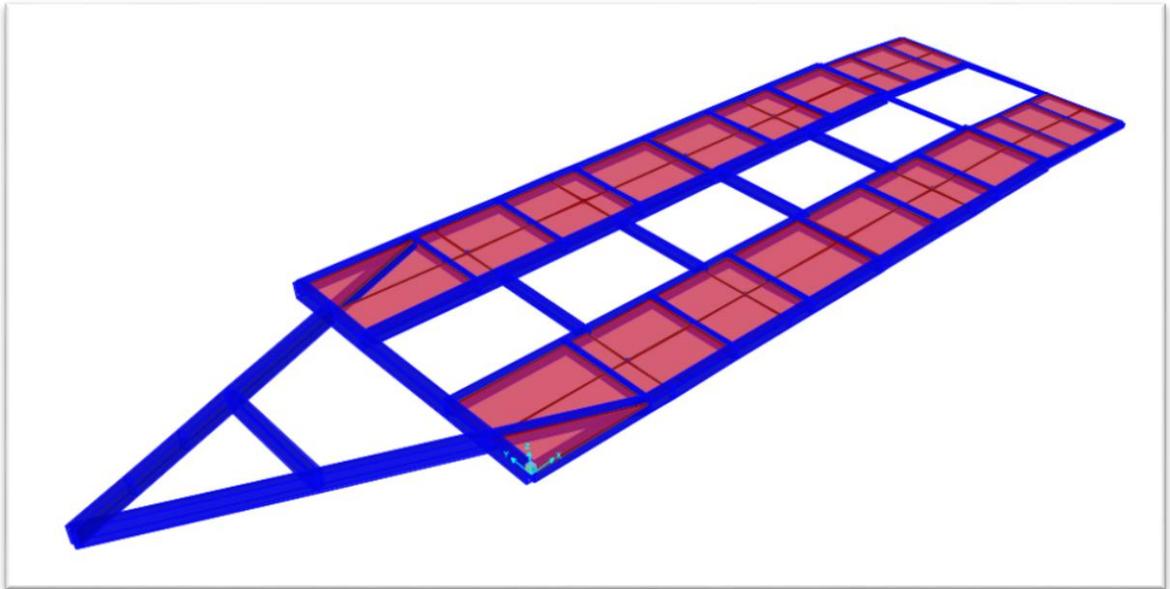
Dentro de los principales requerimientos para esfuerzo combinados se usan las fórmulas que vienen integradas en el programa SAP 2000 con los siguientes criterios:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m f_{bx}}{(1 - \frac{f_a}{F_{éx}}) F_{bx}} + \frac{C_m f_{by}}{(1 - \frac{f_a}{F_{éy}}) F_{by}} \leq 1 \quad (H1 - 1)$$

$$\frac{f_a}{0.60 F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1 \quad (H1 - 2)$$

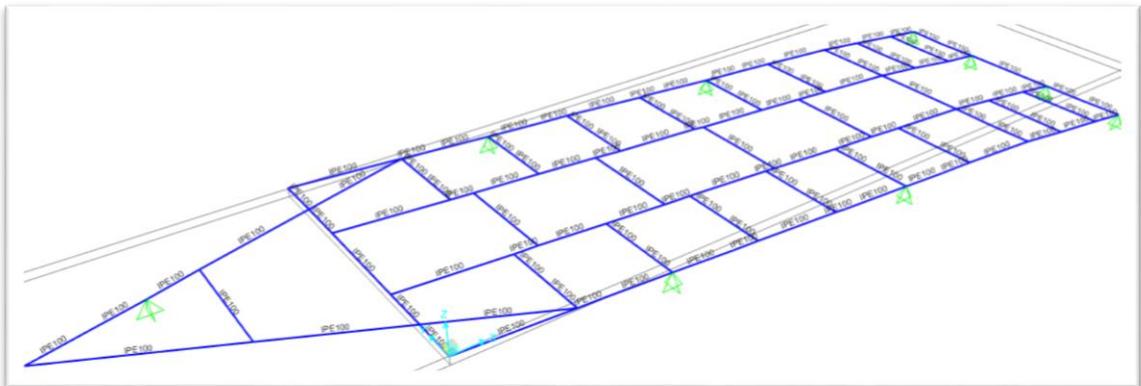
#### 4.2.1. Modelado y Asignación de Secciones

A continuación, se presenta la modelación estructural del chasis, con el perfil IPE 100 y lamina de la sección de rodadura.



**Figura 4-5.** Modelo 3D de la estructura

Fuente: Autor



**Figura 4-6.** Asignación de secciones

Fuente: Autor

### 4.3. Definición de Cargas

Para la verificación estructural se utiliza los siguientes estados de carga.

En este caso se utiliza varias cargas muertas, primero por el peso propio de la estructura, luego por peso del auto en dos ubicaciones y por último la carga muerta por peso de la caja frontal que contiene el compresor y pulmón de aire.

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
DEAD	DEAD	1	
DEAD	DEAD	1	
CAR-P1	DEAD	1	
CAR-P2	DEAD	1	
CAJA	DEAD	1	

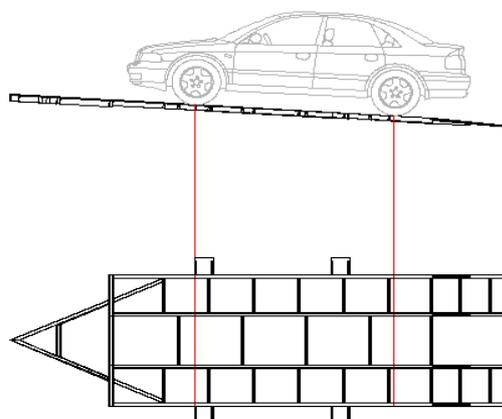
**Figura 4-7.** Definición de estados de carga

Fuente: Autor

### 4.3.1. Carga debido al peso del auto

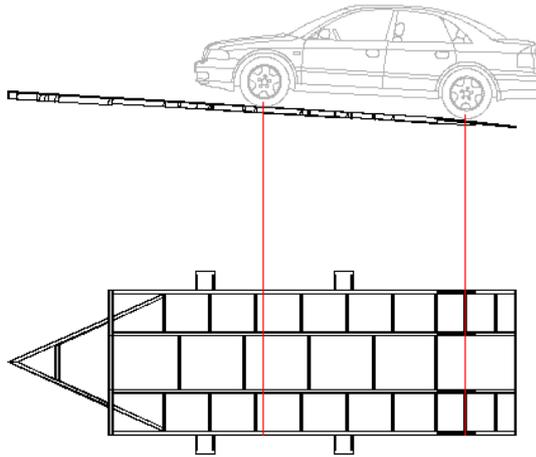
Para la aplicación de la carga muerta producida por la carga muerta del auto a ser transportado se consideran dos posiciones de análisis del auto sobre el chasis del remolque, la primera posición el carro con sus dos primeras llantas subiendo a la plataforma y la segunda posición el carro completamente subido en la plataforma listo para ser transportado.

Para efectos de diseño se consideran además dos escenarios, uno con el remolque apoyado en un extremo y otro para el caso de que el remolque se encuentre apoyado en sus dos ruedas y en el punto de conexión a la bola de tiro.



**Figura 4-8.** Posición de carga

Fuente: (Romeva, 2002)



**Figura 4-9.** Posición de carga 2

Fuente: (Romeva, 2002)

#### 4.3.1.1. Determinación de cargas

- Carga promedio de un auto pequeño

Peso máximo considerado = 2000 kg

Factor de seguridad = 1.5

Carga total = 3000 Kg (Peso planteado como la máxima carga a ser transportada)

Carga por rueda = 750 Kg

- Carga por caja de compresor

Carga considerada de contenido = 20 Kg

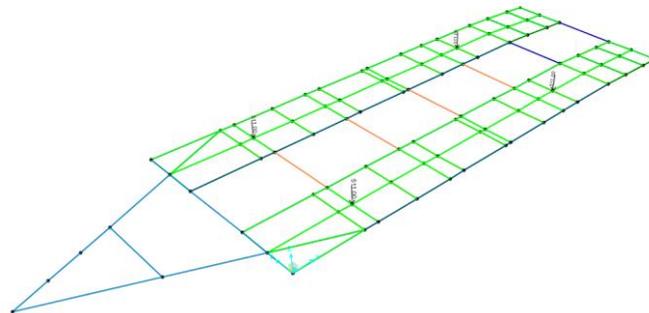
Carga considerada de caja = 16 Kg

Carga total = 36 Kg

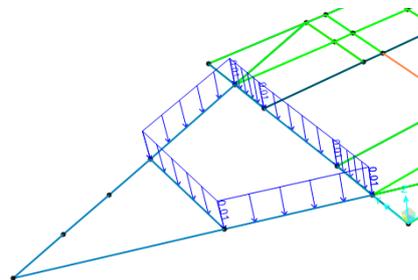
Longitud de aplicación de carga = 3573 mm

Carga distribuida = 0.0101 Kg/mm

#### 4.3.1.2. Asignación de Cargas



(a) Carga por peso del vehículo



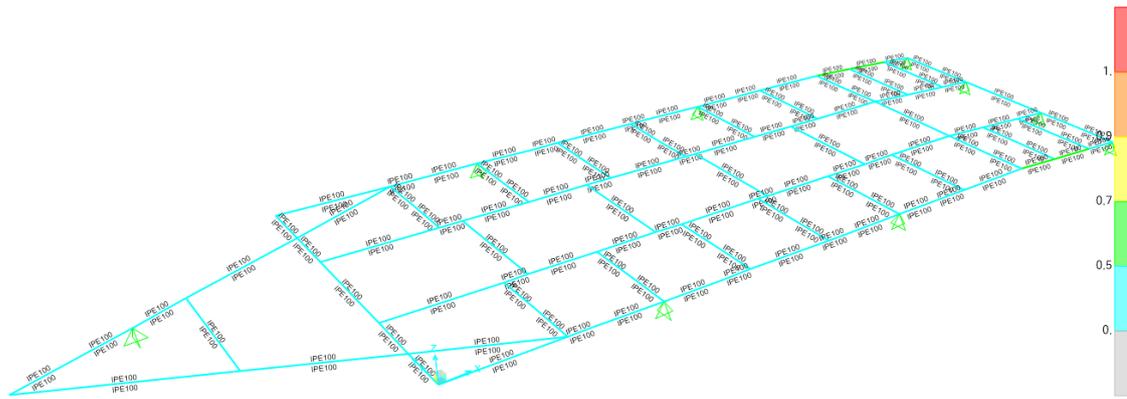
(b) Carga por peso de la caja porta compresor

**Figura 4-10.** (a) Asignación de carga 1 (b) Asignación de carga 2

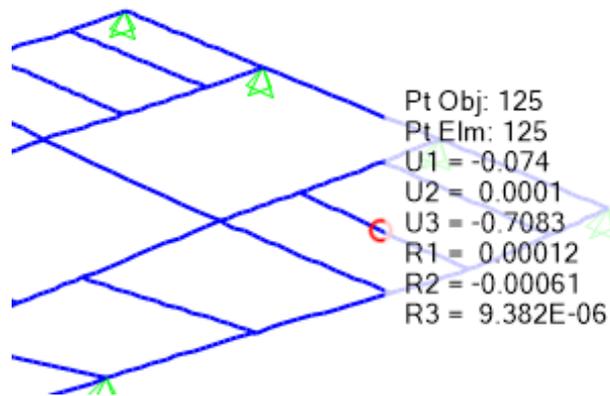
Fuente: Autor

#### 4.4. Análisis de Resultados

Usando SAP2000, se procede al análisis de resultados, para verificar si el perfil utilizado IPE 100, resiste el sistema de cargas anteriores.



(a)



(b)

**Figura 4-11.** (a) Estados tensionales de los elementos (b) Estados de deformación de los elementos

Fuente: Autor

#### 4.5. Estado de Esfuerzos

En la figura 4-11(a), se observa que ningún elemento se encuentra fuera del límite de fluencia del material, por tanto, el perfil IPE100 resistirá todo el sistema de cargas que actúa sobre el mismo.

##### 4.5.1. Estado de Deformaciones

Para el estado de deformaciones, se realizan los siguientes cálculos de acuerdo al AISC, para determinar la máxima deformación del elemento.

Deformación máxima = 5.7119 mm

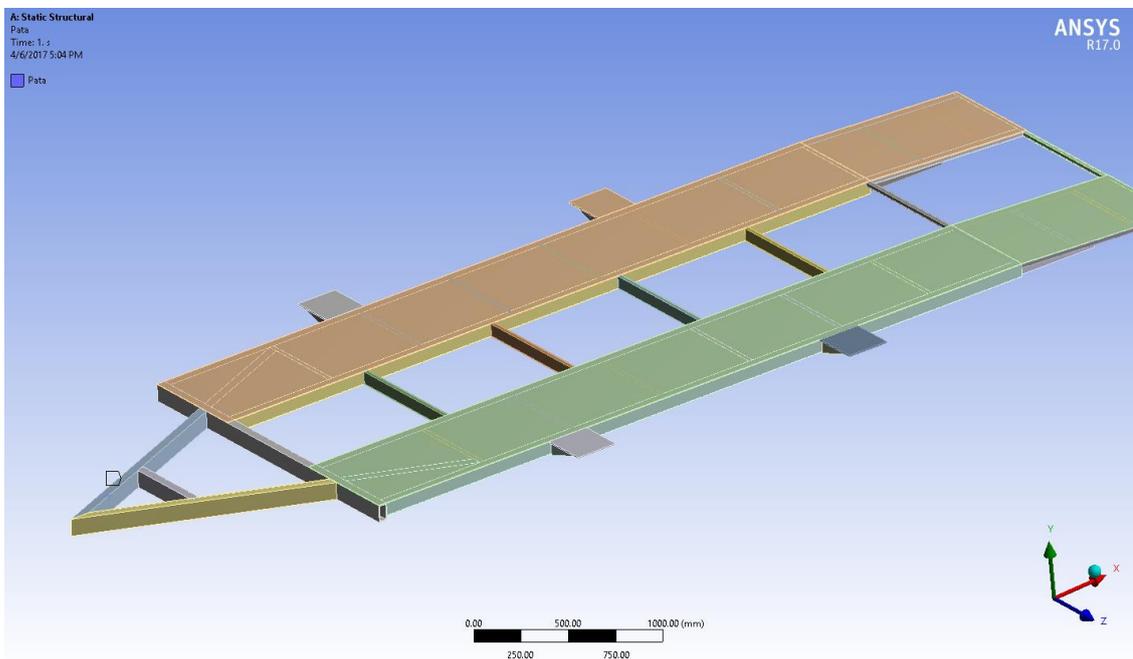
Ancho máximo del chasis = 1910 mm

En la figura 4-11(b), se observa que ningún elemento supera el valor de deformación de 6.3 mm, por tanto, el perfil IPE100 resistirá todo el sistema de cargas que actúa sobre el mismo.

#### 4.6. Análisis por Elementos Finitos

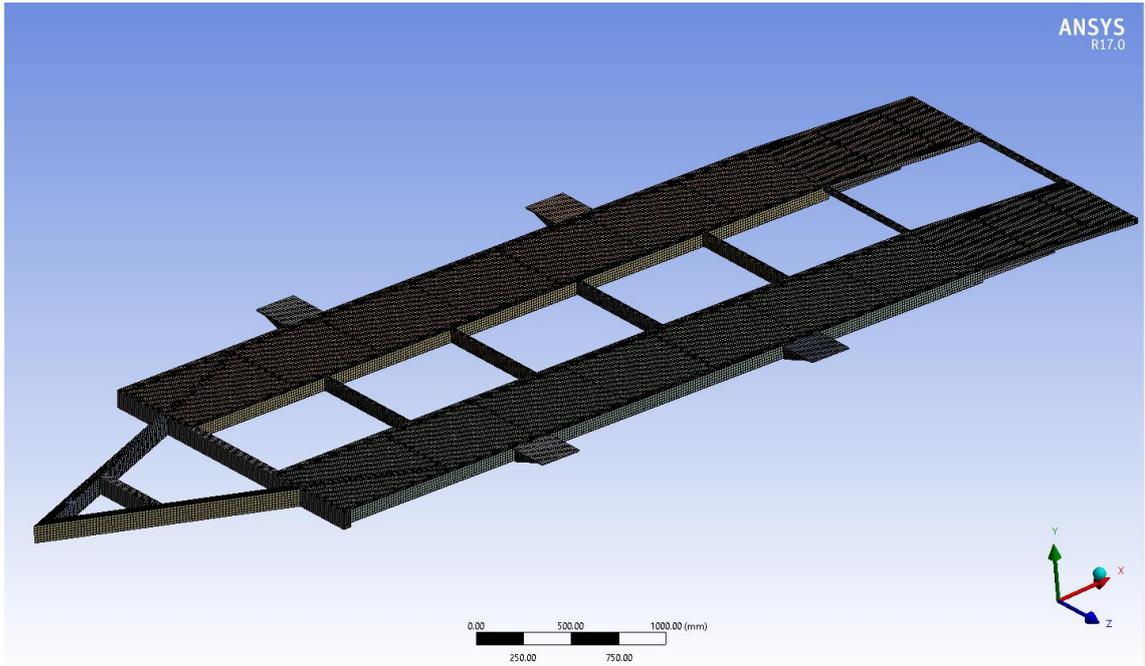
Para verificar el comportamiento de la estructura utilizamos un segundo software ingenieril llamado Ansys en su versión 17.0, este programa permite analizar estructuras y comportamientos mecánicos mediante integrales sucesivas de cada elementos, vamos a analizar al remolque en la posición de carga 1, cuando el vehículo a ser transportado está subiendo al remolque, para este caso se procede a modelar la estructura del chasis como un sólido 3D con sus respectivos espesores de pared.

Como propiedades del material se considera un material estructural estándar similar en propiedades a A-36 o A-572-50.

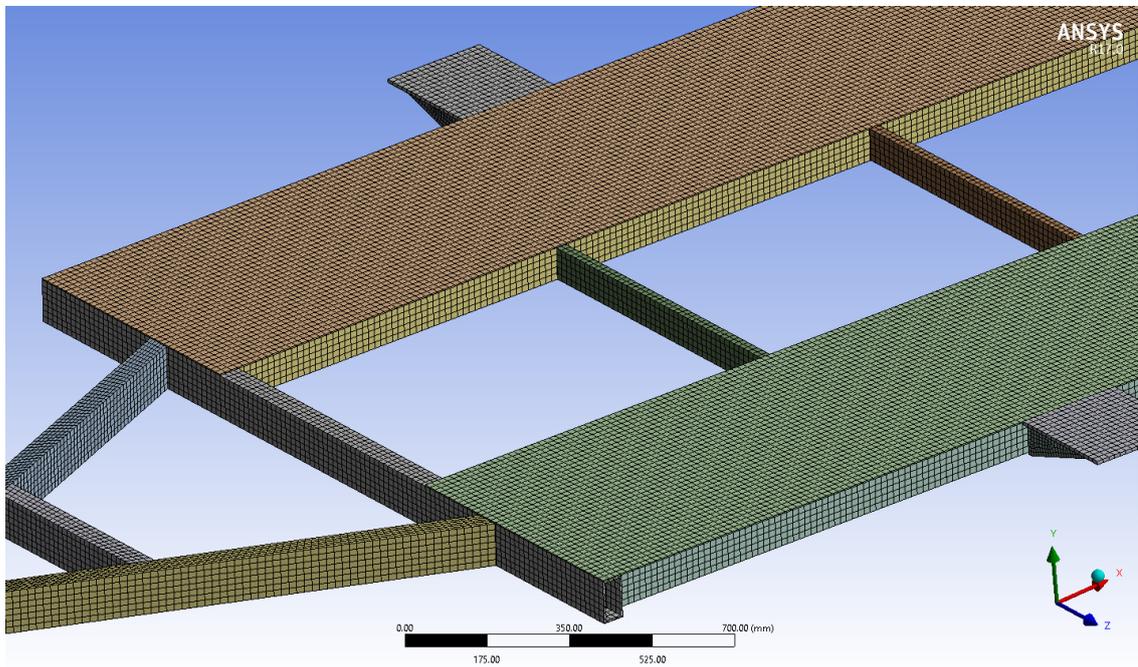


**Figura 4-12.** Modelo 3D de la estructura

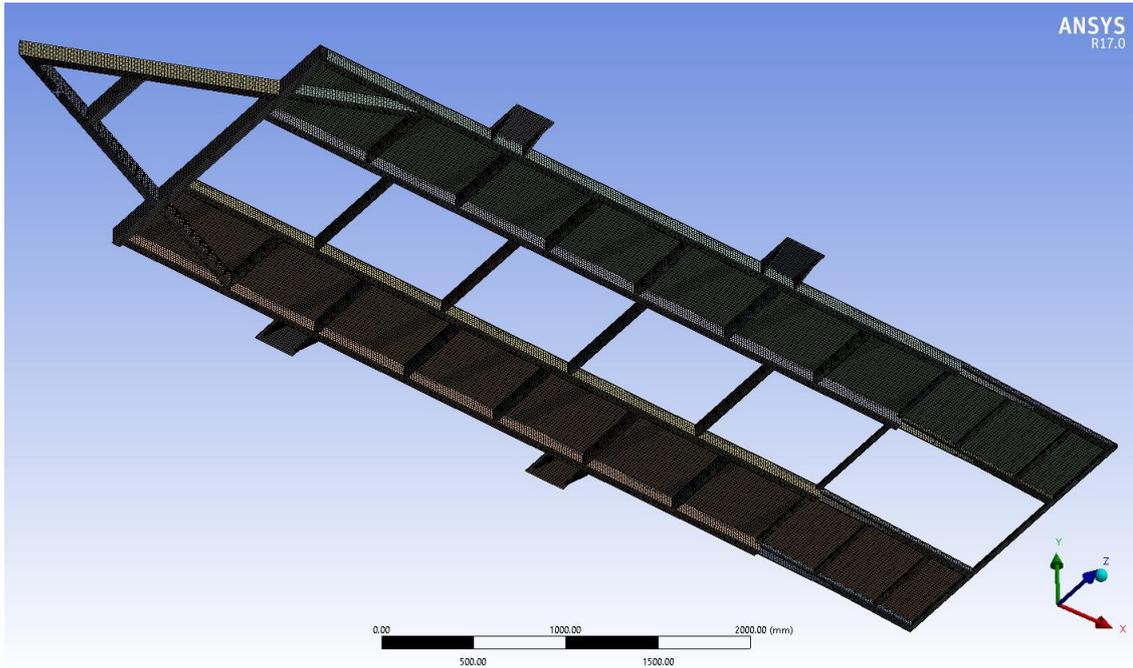
**Fuente:** Autor



(a) Vista superior



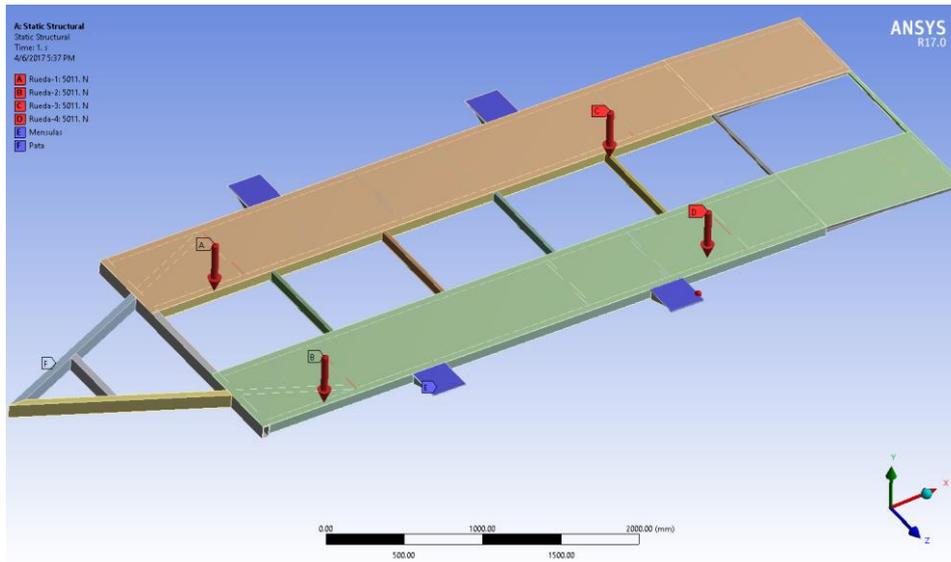
(b) Vista de detalle



(c) Vista inferior

**Figura 4-13.** (a), (b) y (c) Generación del mallado

Fuente: Autor



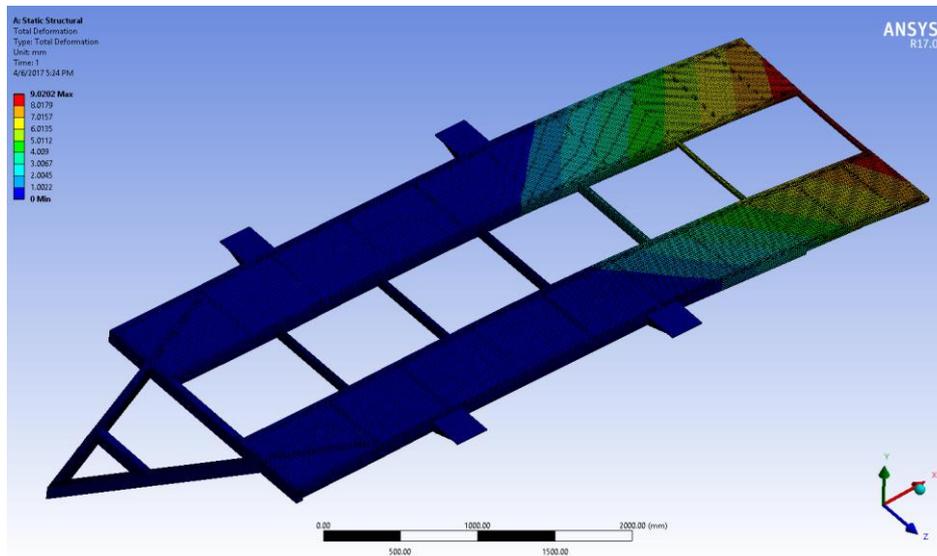
**Figura 4-14.** Asignación de cargas

Fuente: Autor

## 4.7. Resultados

### 4.7.1. Deformaciones

En este caso se evidencia que además de la deformación mostrada en el análisis anterior a lo ancho del chasis, se puede esperar una deformación a lo largo del eje X, es decir a lo largo de la estructura



**Figura 4-15.** Estado de deformaciones

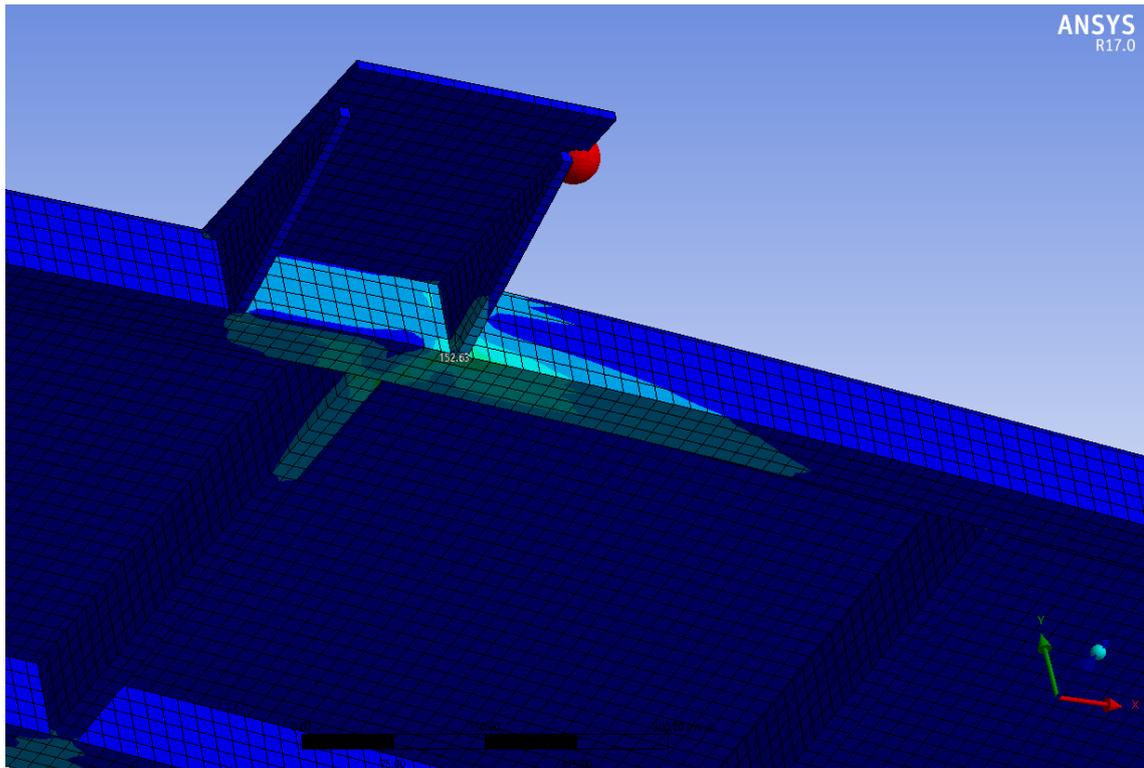
Fuente: Autor

Deformación máxima del modelo = 9.02 mm

Largo máximo del chasis = 5342 mm

Por tanto la deformación prevista es aceptable en el caso de carga máxima con la suspensión neumática elevada.

#### 4.7.2. Esfuerzos



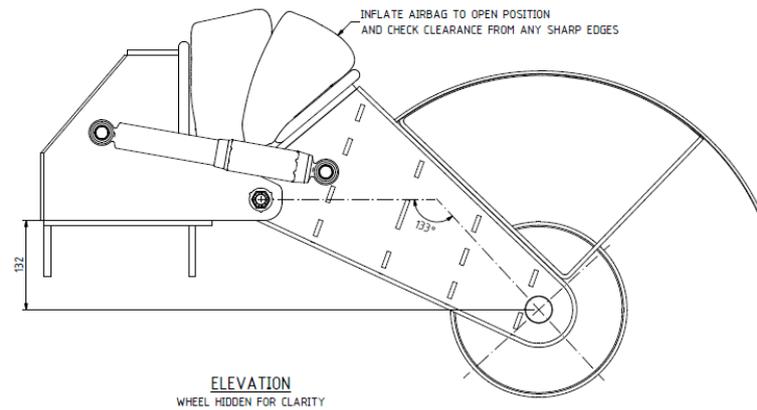
**Figura 4-16.** Estado de esfuerzos de Von Misses

Fuente: Autor

Los estados de tensión de Von Misses indican la energía de distorsión a la que están sometidos los elementos mecánicos de acuerdo a las condiciones y cargas asignadas. Como se puede notar, existe una distribución de esfuerzos en la zona de unión entre la ménsula y el perfil lateral del chasis del remolque. En este caso se analiza el esfuerzo en la zona de la junta y no en el punto exacto de unión, esto ya que el modelo de elementos finitos considera que la carga se transfiere en nodos específicos y esto puede generar estimaciones de esfuerzos generados excesivos.

En base al criterio anterior se tiene un esfuerzo estimado de 152.63 MPa en la zona de la junta, esto es 22137 psi que está bajo el esfuerzo de fluencia del material, típicamente 36000 psi para el ASTM A-36. Con lo cual se evalúa que toda la ménsula que está unida al chasis del remolque soportará los pesos y esfuerzos a los que están sometidos.

### 4.7.3. Análisis del brazo elevador en ANSYS



**Figura 4-17.** Ménsula de Elevación

Fuente: Autor

El programa ANSYS, es un método de análisis el mismo que se basa en el método de elementos finitos ANSYS, y el mismo está dividido en tres herramientas principales establecidos con el nombre de módulos, entre los cuales se encuentran creación de geometría y mallado, procesador y post procesador, los dos módulos están provistos de 117 en una interfaz gráfica. Este procesador de elementos finitos para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no lineales), análisis de transferencia de calor, de fluido dinámicas, y también problemas de acústicas y de electromagnetismo.

Se debe recordar que el interés del análisis con ANSYS está enfocado al momento de elevar la carga, pues el diseño de la plataforma se analiza con SAP. Además, hay un detalle muy importante en la generación del modelo en ANSYS, pues en éste tiene una deformación prevista tal como se observa en la Figura 4-17.

Para la aplicación de este proyecto se va a usar el modelo estático el mismo que generará la resolución de la estructura y el análisis modal para las vibraciones e la estructura. Los datos que se establecerán en el simulador como son tanto el tipo de elementos como el mallado se irán abordando de acuerdo al caso. Como la construcción del modelo y las simplificaciones realizadas.

#### 4.7.3.1. Análisis de la ménsula

Carga máxima = 3000 kg

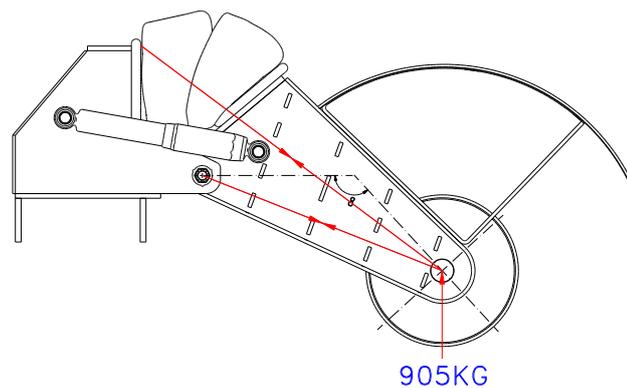
Peso propio del remolque = 620 kg

Peso total = 3620 kg

Carga por rueda =  $3620 \text{ kg} / 4 = 905 \text{ kg}$

Se estima que las reacciones sobre la ménsula se dan en dos posiciones principales, una con el remolque en posición horizontal, y otra con el “fuelle neumático” inflado, donde se tiene un Angulo de aproximadamente  $130^\circ$  entre la ménsula y el brazo.

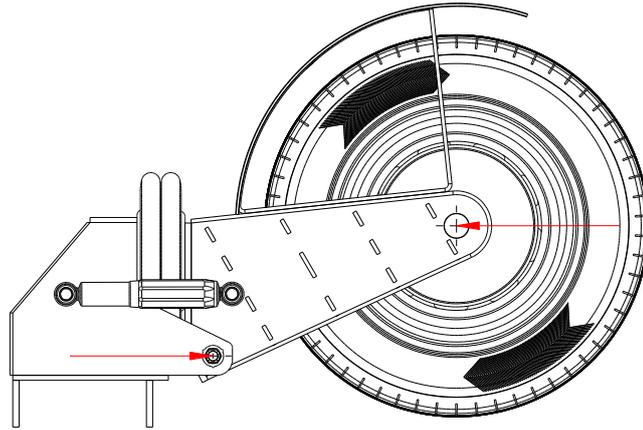
Se estima que en la posición horizontal, al iniciar el inflado es cuando se tiene mayores reacciones sobre la ménsula. Esta recibe dos cargas, una de compresión en la zona de contacto con el “fuelle neumático” y una de tracción en el eje pasante que sirve de pivote para la rueda.



**Figura 4-18.** Ménsula de Elevación abierta

Fuente: Autor

En la posición horizontal, al iniciar la elevación se estima que se produzca una aplicación de carga de aproximadamente el 60% en compresión y 40% en tracción sobre el pivote.

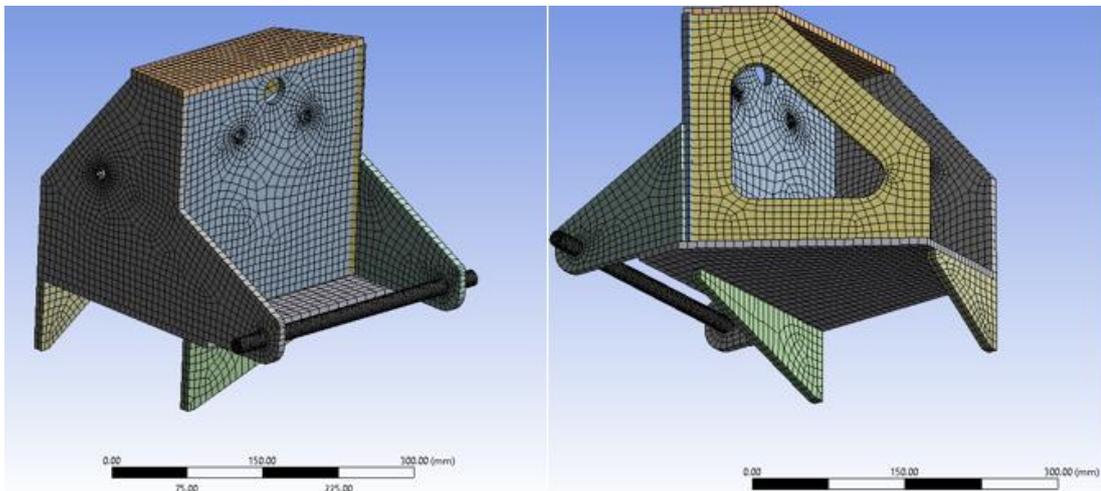


**Figura 4-19.** Fuerzas Generadas en la Ménsula

Fuente: Autor

Con estas estimaciones se procede al análisis en elementos finitos:

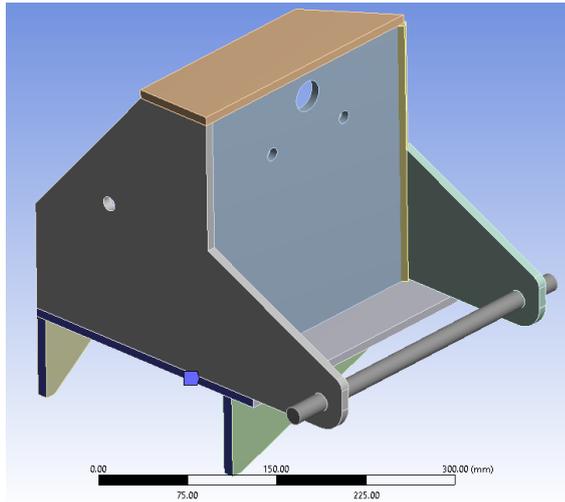
#### 4.7.3.2. Definición de la malla



**Figura 4-20.** Mallado de la Ménsula

Fuente: Autor

Asignación de condición de apoyo en la zona de unión al chasis

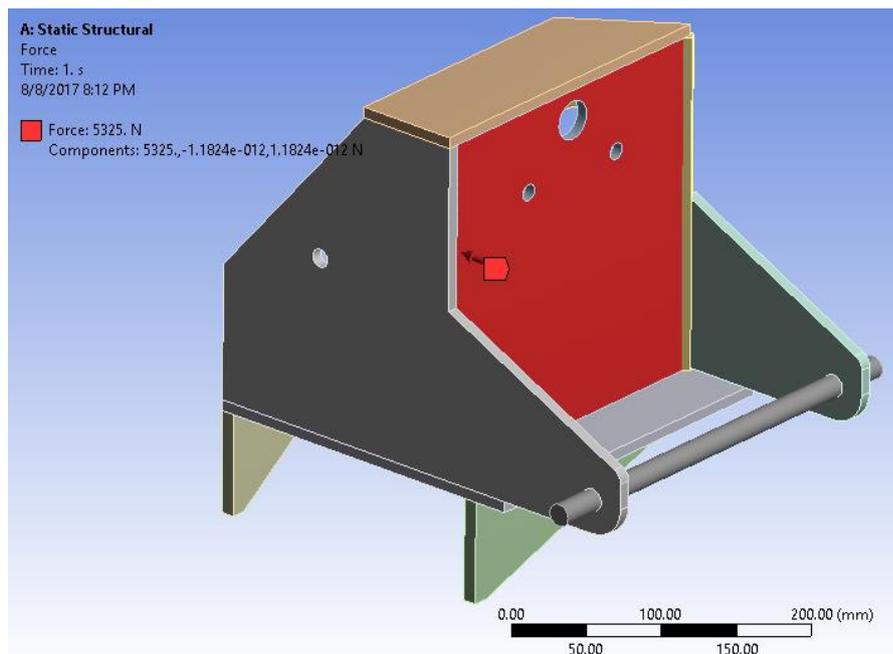


**Figura 4-21.** Asignación de apoyo de la ménsula

Fuente: Autor

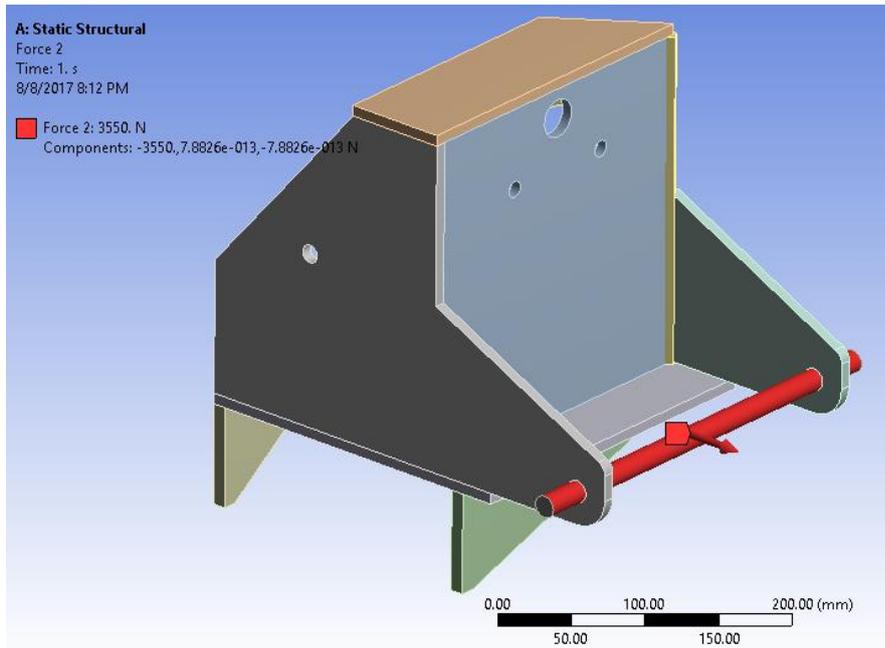
#### 4.7.3.3. Asignación de cargas

Se asigna la carga debida al Airbag como distribuida en la superficie de la placa de apoyo. En el caso del eje pasador se asigna la carga al eje para analizar el eje en sí mismo y su conexión con la placa perforada.



**Figura 4-22.** Asignación de cargas a la Ménsula

Fuente: Autor

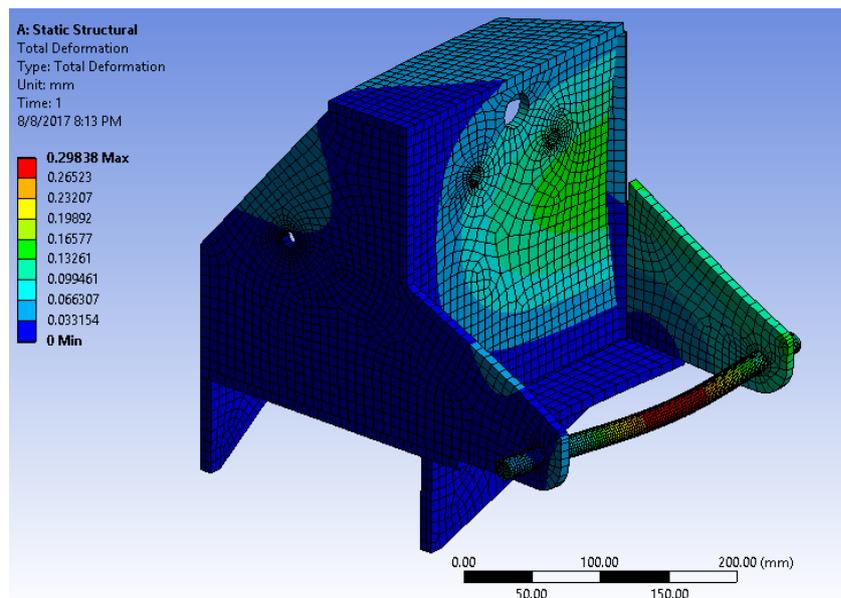


**Figura 4-23.** Asignación de cargas al eje

Fuente: Autor

## 4.8. Resultados de la ménsula

### 4.8.1. Deformación máxima

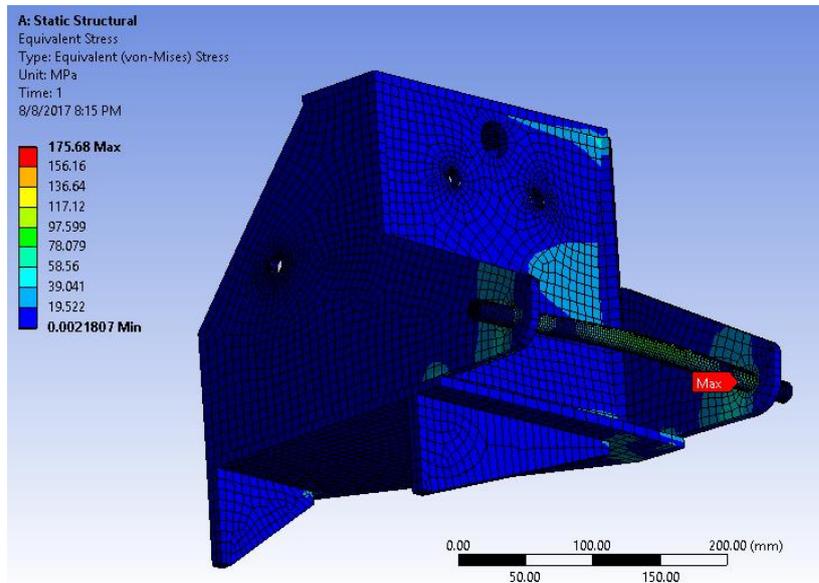


**Figura 4-24.** Deformación máxima de la ménsula

Fuente: Autor

La deformación máxima se encuentra en un valor menor a 1 mm y localizada en el eje pivote, por lo que se considera que la ménsula tiene una rigidez adecuada.

#### 4.8.2. Esfuerzo máximo



**Figura 4-25.** Esfuerzo máximo de la ménsula

Fuente: Autor

El caso del esfuerzo se muestra con un valor de aproximadamente 25526 psi, que es menor al esfuerzo de fluencia del material A-36 (36000 psi) por lo que se puede considerar dentro de un rango adecuado.

Debe notarse que el esfuerzo máximo estimado por el análisis es un esfuerzo localizado en la unión del eje con la placa, esto se debe a concentración de esfuerzos por efectos del modelamiento y mallado, se estima que el contacto entre eje/placa en la fabricación real tiene un área de contacto mayor y que por lo tanto el esfuerzo real sería menor.

Pese a lo anterior se considera adecuado mantener un margen de seguridad entre el esfuerzo máximo estimado y el esfuerzo de fluencia, esto debido a que en operación normal el remolque puede verse sometido a cargas de impacto debido a baches e irregularidades de la vía que generan cargas multiplicadas por el efecto de la aceleración de la gravedad

#### 4.9. Selección de elementos de elevación y soporte de la alternativa 3

Para selección de elementos de elevación y soporte se ha tomado en cuenta lo siguiente:

##### 4.9.1. Compresor



**Figura 4-26.** Compresor marca Airmaxxx

Fuente: Autor

Para la realización del remolque móvil se ha establecido la adquisición de dos compresores de marca airmaxxx 400 , como se puede observar en la figura 56, el mismo que es de 175cfm, el mismo que se demorara 4 minutos en cargar la bomba de 5 galones.

Su conexión estará establecida por un switch de presión, el cual está diseñado con una unidad de disparo especial que protege ante una sobrecarga.

##### 4.9.2. Acumulador de aire



**Figura 4-27.** Reservorio de Aire

Fuente: Autor

El reservorio utilizado será de 5gl, y soporta una presión máxima de 250 psi; el mismo que está diseñado en los planos originales del remolque.

#### 4.9.3. Fuelles Neumáticos



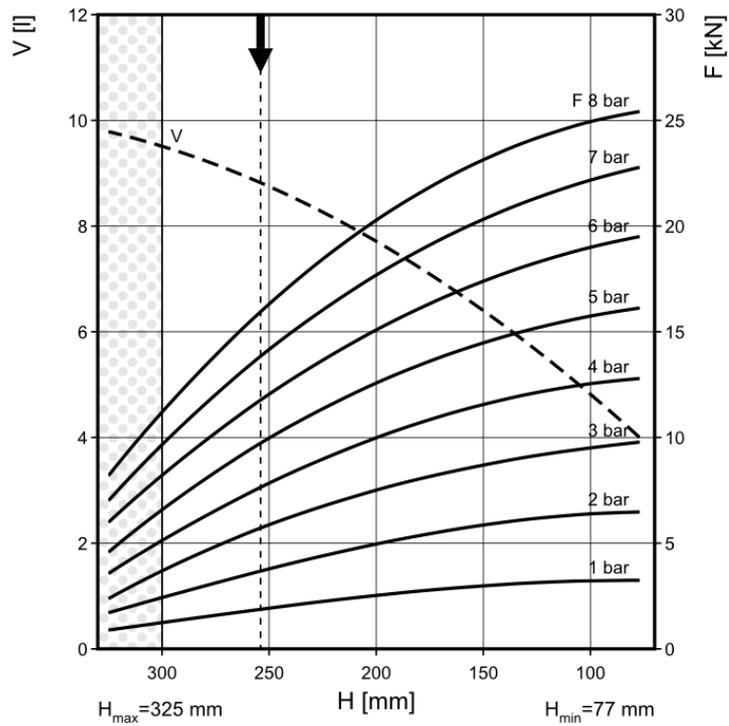
**Figura 4-28.** Fuelle Neumático

Fuente: Autor

Se ha establecido la adquisición de cuatro fuelles neumáticos de la marca contitech, mismos que son de 256 mm de desplazamiento figura 4-28.

##### 4.9.3.1. Características

- La fuelle neumático contitech FD 200-25 P02 cuenta con un doble trabajo pesado abajo diseño ondulado que permite una capacidad de carga segura y cómoda hasta 2500 kg.
- Contiene orificios superiores de montaje que miden aproximadamente 1-3 / 4 "de ojo a ojo y tres agujeros de montaje en la parte inferior permiten que esta bolsa para reemplazar fácilmente a otras marcas de tamaño similar.
- Cada airbag tiene una presión de rotura probado de más de 500 psi.
- Cada fuelle neumático tiene un diámetro de 260 mm, y un recorrido máximo de 325 mm extendido.
- En la Figura 4-29 se puede apreciar la curva característica del fuelle utilizado en nuestro remolque.



**Figura 4-29.** Curva característica fuelle FD 200-25

Fuente: contitech.com

#### 4.9.4. Electroválvulas



**Figura 4-30.** Electroválvulas.

Fuente: Autor

Se utilizó ocho electroválvulas de la marca airmaxxx las cuales son de dos vías dos posiciones soportan una presión normal de trabajo que oscila entre los 150 a 180 psi y tienen una válvula de seguridad que se abre a los 250 psi.

Para la conexión se utilizó cuatro después del acumulador de aire para realizar la elevación del remolque; y las cuatro restantes para realizar la descarga del aire en el momento de bajar la plataforma.

#### 4.9.5. Control eléctrico de posición



**Figura 4-31.** Control eléctrico de posición

Fuente: Autor

Se utilizó un control eléctrico el cual tiene 7 switches, los cuales controlan a las electroválvulas de manera unitaria, en pares o todas juntas ya sea esto para subir o bajar la plataforma.

#### 4.9.6. Acoples y mangueras



**Figura 4-32.** Acoples

Fuente: Autor

Para la interconexión del acumulador de aire con las electroválvulas y los airbags se utilizó acoples de bronce de medida  $\frac{1}{2}$ , en sus versiones como uniones, acoples a 45 grados, cruz de cuatro posiciones, tapones, etc.

Para la conexión hacia los airbags se utilizó cañería neumática de medida 8 mm la cual soporta una presión de hasta los 32 bares.

#### 4.9.7. Manómetros



**Figura 4-33.** Manómetro

Fuente: Autor

Se utilizó 5 manómetros de marca winters que mide hasta 200 psi; Un manómetro está ubicado en el acumulador de aire, y los cuatro restantes uno en cada línea que se dirige hacia los airbags de esta manera podemos saber la presión real de trabajo de cada una de los airbags.

#### 4.10. Materiales utilizados en el diseño.

Cabe mencionar que todos los materiales estructurales que se utilizaron para la construcción son los que podemos encontrar en el mercado nacional y están a un precio módico para nuestros bolsillos.

**Tabla 4-1.** Tabla de materiales utilizados

<b>Componente</b>	<b>Marca</b>	<b>Material</b>	<b>Dimensión</b>
Acumulador de aire		Acero	Diámetro 250 mm por 1100 mm de largo
Acoples		Bronce	Varias
Cañería neumática		Plastico	8 mm
Manómetros	Winters	Plastico, acero, bronce	
Tubo rectangular (construcción del cuadro principal)	DIPAC	Acero A-36	A= 100 mm B= 50 mm E= 3 mm
Tubo rectangular (rieles internas)	DIPAC	Acero A-36	A= 80 mm B= 40 mm e= 3
Tubo rectangular (construcción del triángulo de arrastre)	DIPAC	Acero A-36	A= 80 mm B= 40 mm e= 3
Planchas de acero (construcción del piso de las rieles)	DIPAC	Acero	2mm
Tubo rectangular rampas fijas	DIPAC	Acero A-36	A= 25 mm B= 15 mm e= 1,5 mm
Piezas en plasma CNC	DIPAC	Acero A-36	Diferentes medidas
Aluminio corrugado	DIPAC	Aluminio	1.5 mm

**Fuente:** Autor

## **CAPÍTULO V**

### **5. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

#### **5.1. Procedimiento de construcción**

Una vez concluido toda la etapa de simulación de la estructura y que sabemos que no existe esfuerzos ni deformaciones mayores que puedan comprometer nuestro diseño se inicia con la etapa de construcción; siguiendo a detalle todos los aspectos detallados en los planos obtenidos.

Para realizar el proceso de construcción se acude a un taller que disponga de las herramientas necesarias, así como también que sea capaz de garantizar que el ensamblaje de todos sus elementos se realicen de una, manera óptima.

#### **5.2. Normas de construcción**

El personal que se dedique a la construcción del remolque debe disponer de:

- Protección para las manos y brazos, como guantes especialmente para el manejo de objetos afilados o cortantes
- Protección para los ojos
- Calzado de seguridad con punta de acero o botas con protectores de plástico para proteger el empeine
- Cascos, como medidas de protección para la cabeza
- Uniformes exclusivos para la construcción

Así también es necesario:

- Contar con señalética que permita actuar de manera inmediata ante imprevistos
- Planes de emergencia y evacuación
- Inspección y limpieza de las instalaciones
- Contar con las herramientas e implementos de seguridad
- Pruebas de maquinaria

### 5.3. Construcción del cuadro principal

Para la construcción del cuadro principal se utilizó un tubo rectangular de dimensiones  $A=100$  mm,  $B=50$  mm,  $e=3$  mm para la parte frontal; Para completar el cuadro se utilizó un tubo rectangular de dimensiones  $A=80$  mm,  $B=40$  mm,  $e=3$  que están hechos en acero A-36

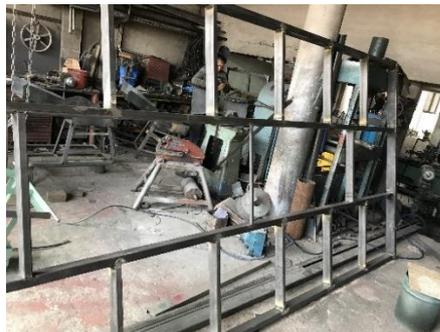


**Figura 5-1.** Cuadro principal

Fuente: Autor

### 5.4. Construcción de rieles internos de la plataforma

Para la construcción de las rieles internas se utilizó un tubo rectangular de dimensiones  $A=80$  mm,  $B=40$  mm,  $e=3$  que esta echo en acero A-36.



**Figura 5-2.** Rieles Internos

Fuente: Autor

### 5.5. Construcción del triángulo de arrastre

Para la construcción del triángulo de arrastre se utilizó un tubo rectangular de dimensiones  $A=80$  mm,  $B=40$  mm,  $e=3$  que esta echo en acero A-36.



**Figura 5-3.** Triangulo de arrastre

Fuente: Autor

### **5.6. Construcción del piso de las rieles**

Para la construcción del piso se utilizó planchas de acero corrugado de espesor 2 mm, las cuales fueron cortadas a medida de las rieles de nuestro remolque.



**Figura 5-4.** Piso del remolque

Fuente: Autor

### **5.7. Construcción de las rampas fijas al remolque**

A diferencia de otros diseños de remolque el nuestro posee rampas fijas las cuales van soldadas al remolque y son para que los vehículos puedan subir los 4 centímetros que tenemos del cuadro principal; esta rampas están construidas en acero rectangular de A=25 mm, B=15 mm, e=1.5 mm que esta echo en acero A-36.



**Figura 5-5. Rampas Fijas**

Fuente: Autor

### **5.8. Construcción del mecanismo de elevación**

Debido a la complejidad en las formas de piezas necesarias para la construcción del mecanismo se optó por realizar el corte de las piezas en plasma CNC facilitando de esta manera la obtención del mecanismo de elevación; Una vez cortadas todas las piezas se procede a realizar el ensamble del mecanismo mediante la unión de todas las piezas obtenidas durante el corte.



**Figura 5-6. Mecanismo de Elevación**

Fuente: Autor

### **5.9. Acople del mecanismo de elevación a la plataforma**

Una vez terminado la construcción del mecanismo de elevación y de la plataforma respectivamente se realizó la unión de estas dos partes siguiendo las dimensiones establecidas en el diseño.



**Figura 5-7.** Acople del mecanismo a la plataforma

Fuente: Autor

### **5.10. Construcción de la caja porta accesorios**

Esta caja es el lugar donde se alojara todos los elementos neumáticos que darán la característica de funcionamiento a nuestro remolque; debido a que esto no está sometido a ningún tipo de esfuerzo se la realizo en aluminio corrugado de espesor 2 mm.



**Figura 5-8.** Caja Porta accesorios

Fuente: Autor

### **5.11. Pintado general de la estructura**

Para realizar el pintado de la estructura se tomó en cuenta el ambiente de trabajo en el cual va a estar operando, teniendo en cuenta factores como la corrosión y la abrasión se decidió pintarle primero con un fondo especial para estructuras que vaya a estar a la intemperie, y luego de esto se aplicó una capa de pintura anticorrosiva de color rojo.



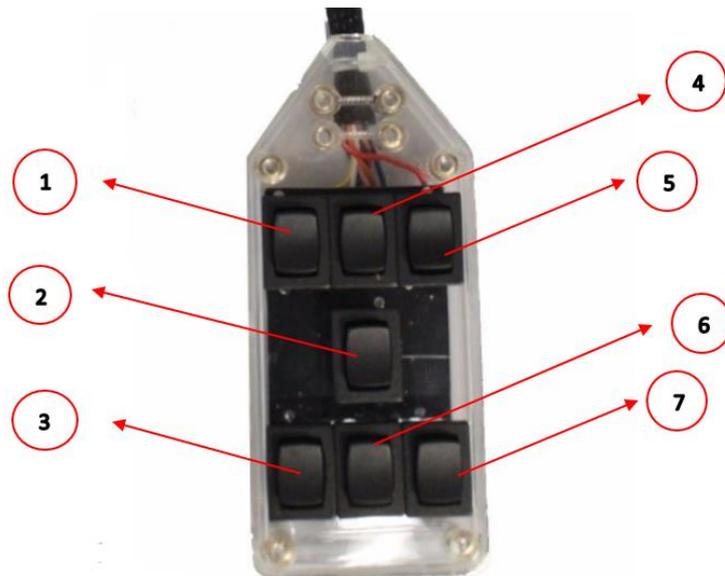
**Figura 5-9.** Pintado del Remolque

Fuente: Autor

### 5.12. Manual del usuario

El objetivo primordial de este manual es ayudar y guiar al usuario en la utilización del remolque móvil con circuitos neumáticos, despejando todas las dudas que se puedan generar al momento de su funcionamiento.

Este manual está enfocado en la utilización del control remoto, el cual va a realizar las funciones de elevación y descenso de la plataforma.



**Figura 5-10.** Especificaciones del control Remoto

Fuente: Autor

## ESPECIFICACIONES:

1

Control de fuelle neumático delantero derecho. Swtich de tres posiciones en las cuales posición media es apagado, superior carga de aire e inferior descarga de aire.

2

Control general de fuelles neumáticos. Controla la carga y descarga de aire de los cuatro fuelles simultáneamente. Swtich de tres posiciones en las cuales posición media es apagado, superior carga de aire e inferior descarga de aire.

3

Control de fuelle neumático trasero izquierdo. Swtich de tres posiciones en las cuales posición media es apagado, superior carga de aire e inferior descarga de aire.

4

Control de fuelle neumático delantero izquierdo. Swtich de tres posiciones en las cuales posición media es apagado, superior carga de aire e inferior descarga de aire.

5

Control de fuelle neumático trasero derecho. Swtich de tres posiciones en las cuales posición media es apagado, superior carga de aire e inferior descarga de aire.

6

Controla la carga y descarga de aire de dos fuelles simultáneamente, para este caso controla los dos fuelles del lado derecho. Swtich de tres posiciones en las cuales posición media es apagado, superior carga de aire e inferior descarga de aire.

Controla la carga y descarga de aire de dos fuelles simultáneamente, para este caso controla los dos fuelles del lado izquierdo. Switch de tres posiciones en las cuales posición media es apagado, superior carga de aire e inferior descarga de aire.

### 5.13. Precauciones generales

- Al momento de comenzar su utilización tener precaución con objetos u personas que puedan estar cerca de la plataforma, dado que esta baja a nivel del piso y puede producir incidentes, dejando atrapadas las extremidades inferiores de personas que pueden estar cerca del remolque.
- Una vez enganchado el remolque siempre deberemos realizar una inspección de su sistema de enganche, que deberá quedar perfectamente asegurado y con las conexiones de alumbrado bien acopladas.
- Neumáticos. Los neumáticos deberán llevar las presiones correctas, no presentar signos de desgaste ni deformidades.
- Aumentar los márgenes de seguridad. Al llevar remolque por carretera somos más largos y más pesados. Las distancias de frenado se alargarán en proporción directa a nuestra carga y deberemos aumentar proporcionalmente la distancia de seguridad respecto al vehículo que nos precede. Asimismo deberemos tener en cuenta esta mayor longitud y peso al adelantar, no dispondremos de la misma aceleración y necesitaremos mayor distancia para incorporarnos al carril derecho tras el adelantamiento. No podremos tomar las curvas a la misma velocidad que cuando no llevamos el remolque, tenerlo siempre en cuenta y anticiparnos antes de iniciar los giros.
- El reparto del peso en nuestro remolque es muy importante para garantizar la estabilidad de marcha. Colocar los objetos más pesados en el centro del remolque y procurar que la carga se reparta lo más abajo posible para rebajar el centro de gravedad.

#### 5.14. Pruebas de campo

Al realizar las pruebas de campo se garantiza que la estructura no vaya a sufrir fallas que comprometan la integridad de la plataforma como de los vehículos que se vayan a transportar.



**Figura 5-11.** Prueba con vehículo Corsa

Fuente: Autor



**Figura 5-12.** Prueba con vehículo Suzuki

Fuente: Autor

#### 5.15. Prueba de elevación con 2000 kg

Para realizar este ensayo se realizó una prueba utilizando un vehículo de marca Mazda modelo b2600 4x4 del año 2007 de un peso de 1830 kg y al no poder llegar a las dos toneladas se completó el peso adicionando 5 personas más de un peso individual aproximado de 60 kg. En total se logró llegar a un peso de 2070 kg completando así de esta manera el peso máximo propuesto en nuestro diseño.



**Figura 5-13.** Prueba de elevación con 2070 kg

**Fuente:** Autor

**5.16. Pruebas comparativas entre un remolque convencional y el remolque planteado en nuestro diseño.**

**Tabla 5-1.** Comparativa entre remolques, con vehículo corsa wind

<b>Vehículo Chevrolet corsa wind peso (906kg)</b>	<b>Remolque convencional</b>	<b>Remolque móvil con circuitos neumáticos</b>
<b>Tiempo de elevación</b>	16.35 minutos	4.05 minutos
<b>Esfuerzo realizado por el propietario</b>	Bajar rampas Colocar rampas Centrar rampas al vehículo Subir solo llantas delantera Colocar tacos de madera en la parte posterior para subir las llantas posteriores Levantar el vehículo de la parte posterior par que no golpear la parte inferior del vehículo Colocar rampas nuevamente en el remolque	Ninguno
<b>Presión del sistema</b>	0	6 bares
<b>Altura lograda</b>	370 mm	390 mm

Fuente: Autor

**Tabla 5-2.** Comparativa entre remolques, con vehículo Volkswagen gol power

<b>Vehículo Volkswagen gol power peso (1320kg)</b>	<b>Remolque convencional</b>	<b>Remolque móvil con circuitos neumáticos</b>
<b>Tiempo de elevación</b>	16.35 minutos	6.10 minutos
<b>Esfuerzo realizado por el propietario</b>	<p>Bajar rampas</p> <p>Colocar rampas</p> <p>Centrar rampas al vehículo</p> <p>Subir solo llantas delantera</p> <p>Colocar tacos de madera en la parte posterior para subir las llantas posteriores</p> <p>Levantar el vehículo de la parte posterior par que no golpear la parte inferior del vehículo</p> <p>Colocar rampas nuevamente en el remolque</p>	Ninguno
<b>Presión del sistema</b>	0	6.5 bares
<b>Altura lograda</b>	370 mm	350 mm

Fuente: Autor

**Tabla 5-3.** Comparativa entre remolques, con vehículo aveo family

<b>Vehículo Chevrolet aveo family 2016 peso(1455kg)</b>	<b>Remolque convencional</b>	<b>Remolque móvil con circuitos neumáticos</b>
<b>Tiempo de elevación</b>	10 minutos	8.45 minutos
<b>Esfuerzo realizado por el propietario</b>	Bajar rampas Colocar rampas Centrar rampas al vehículo Subir solo llantas delantera Colocar rampas nuevamente en el remolque	Ninguno
<b>Presión del sistema</b>	0	7 bares
<b>Altura lograda</b>	370 mm	370 mm

Fuente: Autor

**Tabla 5-4.** Comparativa entre remolques, con vehículo Mazda B2600 4x4

<b>Vehículo mazda b2600 4x4 peso (1835kg)</b>	<b>Remolque convencional</b>	<b>Remolque móvil con circuitos neumáticos</b>
<b>Tiempo de elevación</b>	10 minutos	16.50 minutos
<b>Esfuerzo realizado por el propietario</b>	Bajar rampas Colocar rampas Centrar rampas al vehículo Subir solo llantas delantera Colocar rampas nuevamente en el remolque	Ninguno
<b>Presión del sistema</b>	0	11 bares
<b>Altura lograda</b>	370 mm	310 mm

Fuente: Autor

## CAPÍTULO VI

### 6. ESTUDIO DE COSTOS

El presente capítulo se va a enfocar en detallar los costos que intervienen en el momento de diseñar y construir el remolque móvil. Las variables que se involucran en el costo son los siguientes: mano de obra, accesorios y materiales

#### 6.1. Costos directos

Los costos directos de la investigación están enfocados al costo de la mano de obra para el diseño y la construcción y los materiales.

**Tabla 6-1.** Estimación de costos directos

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Mano de obra diseño	\$100,00
2	Mano de obra Construcción	\$150,00
3	Materiales	\$1200,00
	<b>TOTAL</b>	<b>\$2.550,00</b>

Fuente: Autor

#### 6.2. Costos indirectos

Dentro de los costos indirectos constan los costos de imprevistos, materiales que no intervienen directamente dentro de la construcción de remolque móvil.

**Tabla 6-2.** Estimación de costos indirectos

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL
1	<b>Construcción taller incluido consumibles y pintura</b>	1	Und	\$1500	\$1500
2	Planos constructivos	1	Und	\$200	\$200
3	Compresores AM400	2	Und	\$350	\$700
4	Electroválvulas	2	Und	\$500	\$1.000
5	Fuelles neumáticos	4	Und	\$600	\$2.400
6	Aros rin 16	4	Und	\$50	\$200
7	Neumáticos	4	Und	\$200	\$800
8	Luces	4	Und	\$70	\$280
9	Interconexiones de aire comprimido	4	Und	\$50	\$200
		<b>TOTAL</b>			<b>\$7.280,00</b>

Fuente: Autor

## CAPÍTULO VII

### 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

- Se realizó el diseño del mecanismo de elevación bajo el programa CAD llamado Solid Works 2016, en el cual se dimensionó la plataforma, la misma que tiene que estar acorde con las normas viales vigentes en nuestro país; para que este pueda circular libremente.
- Se verificó la resistencia estructural del remolque mediante la utilización de programas CAE (SAP2000 - ANSYS 17.0), en los cuales obtuvimos de una manera gráfica y numérica los esfuerzos y deformaciones presentes en la estructura metálica; visualizando que no existe deformaciones ni esfuerzos que vayan a poner en riesgo la integridad y seguridad del remolque.
- Al momento de seleccionar los airbags se tomó muy en cuenta el diseño del mecanismo, ya que su función de tipo angular disminuye la fuerza nominal del airbag por lo tanto se tuvo que adquirir unos airbags de mayor capacidad que la carga máxima planteada, asegurando de esta manera el correcto funcionamiento de nuestro remolque.
- Realizando el ensayo obtuvimos una respuesta favorable del remolque, ya que el mecanismo de elevación alzó las dos toneladas de peso que se planteó en el tema de tesis; Asegurándonos que el remolque móvil con circuitos neumáticos funciona de una manera correcta.
- Se realizó una capacitación teórica práctica al propietario y trabajadores de la mecánica Injection Power, sobre el correcto uso y funcionamiento del remolque móvil con circuitos neumáticos.

## **7.2. Recomendaciones**

- Realizar un mantenimiento preventivo cada dos meses para de esta manera asegurar su correcto funcionamiento y alargar la vida útil del mismo.
- Manejar con mucha precaución el remolque; Tomando en cuenta que el ancho del mismo es mayor que el vehículo con el cual se está movilizándolo al remolque, manteniendo una distancia de seguimiento mayor a la normal en las vías ya que toma mayor tiempo realizar el frenado.
- Revisar el manual del usuario en caso de desconocimiento sobre el uso del control eléctrico de los fuelles neumáticos, ya que este posee muchos pulsadores que tienen que ser identificados claramente para un funcionamiento adecuado.
- Guardar al remolque bajo una superficie cubierta debido a que este posee un acumulador de energía, que podría estropearse a la intemperie.

## BIBLIOGRAFÍA

**AL-KO. 2017.** X-treme remolques. [En línea] 2017. <http://www.remolques-peru.com/remolques-industriales/>.

*Aplicación del Método Secuencial en la Solución de Problemas de Electroneumática.* **Universidad Tecnológica de Pereira. 2009.** 2009, Scientia et Technica .

**Área Mecánica. 2007.** *Sincronización de actuadores hidráulicos.* México : s.n., 2007.

**Ashby, Michael F. 2010.** *Materials Selection in Mechanical Design.* Cambridge : Butterworth-Heinemann, 2010.

**ASHM. 2015.** Cilindros hidráulicos. [En línea] 2015. [Citado el: 11 de julio de 2015.] <http://www.ashm.mx/blog/otros-tipos-de-cilindros-hidraulicos/>.

**Automation Studios.** [En línea] <http://www.automationstudio.com/>.

**Cardona, Jaime. 2010.** *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REMOLQUE DE DOBLE EJE CON ARTICULACIÓN DELANTERA.* Guayaquil : Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2010.

**Castiñeira, Nelson.** Educación Técnica. [En línea] [http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index\\_archivos/Page4697.htm](http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/Page4697.htm).

**CEAACES. 2010.** *Ley Orgánica de Educación Superior.* Quito : s.n., 2010.

**Çengel, Yunus A. y Boles, Michael A. 2011.** *Termodinámica.* Ciudad de México : McGraw-Hill Companies, Inc., 2011.

*Cilindros de fuelle neumáticos . Parker Hannifin . 2012.* 2012, Catálogo PDE2576TCES, pág. 4.

**Creus, Antonio. 2013.** *Neumática e Hidráulica.* Buenos Aires : Mundo Cultural Hispano, 2013.

**Cumbal, Pablo y Gangotena, Santiago. 2009.** *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLATAFORMA REMOLQUE CON SUSPENSIÓN MODIFICADA PARA*

*TRANSPORTE DE VEHÍCULOS DE COMPETENCIA 4x4*. Quito : Escuela Politécnica Nacional, 2009.

**CURTMFG. 2010.** Understanding Towing. [En línea] 2010. [https://assets.curtmfg.com/webfiles/Understanding\\_Towing\\_6.pdf](https://assets.curtmfg.com/webfiles/Understanding_Towing_6.pdf).

**De las Heras, Salvador. 2011.** *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Barcelona : Service Point, 2011.

**Ebay. 2016.** Ebay. [En línea] 2016. <http://www.ebay.com/bhp/7x12-enclosed-trailer>.

**Ferreira, A.J.M. 2009.** *MATLAB Codes for Finite Element Analysis*. Lisboa : Springer, 2009.

**Firestone. 2013.** 2013, Airstroke actuadores & Airmount aisladores.

**Genta, Giancarlo y Morello, Lorenzo. 2009.** *The Automotive Chassis Volume 2: System Design*. Torino : Springer, 2009.

—. **2009.** *The Automotive Chassis Volume1: Components Design*. Torino : Springer, 2009.

**González, José, Ballesteros, Rafael y Parrondo, Jorge. 2005.** *Problemas de oleohidráulica y neumática*. Asturias : Ediciones de la Universidad de Oviedo, 2005.

**Heibing, Bernd y Ersoy, Metin. 2011.** *Chassis Handbook*. Berlin : VIEWEG+TEUBNER, 2011.

**Hesse. 2015.** 99 ejemplos prácticos de aplicaciones neumáticas. [En línea] 2015. [Citado el: 23 de julio de 2015.] <https://docs.google.com/file/d/0B-Xrr35sjKbNS2w3N3ZrT3ZtTDQ/edit?pli=1>.

**Hesse, Stefan. 2000.** *99 ejemplos de aplicaciones neumáticas*. Esslingen : FESTO, 2000.

**Hutton, David. 2004.** *FUNDAMENTALS OF FINITE ELEMENT ANALYSIS*. New York : The McGraw-Hill Companies, 2004.

**Kokch, Rusia. 2011.** [En línea] 2011. <http://www.kokch.kts.ru/me/m9/c1.htm>.

**Madueño, Héctor. 2012.** *Diseño y análisis de un Remolque para tres motocicletas.* Leganés : Universidad Carlos III de Madrid, 2012.

**Majumdar, S. 2015.** *Sistemas Neumáticos: Principios y Mantenimiento.* Buenos Aires : McGraw Hill, 2015.

**Martín, Juan y García, María. 1996.** *Automatismos Industriales.* Bogotá : Editex, 1996.

**Mechatronics4U. 2016.** Mechatronics4U. [En línea] 2016.  
<http://www.mechatronics4u.com/product/901215/pilot-check-valve,-pneumatic,-pcv-02,-taiyo-japan.html>.

**Millán, Salvador. 1995.** *Automatización neumática y electroneumática.* Terrasa : Marcombo, 1995.

**Mott, Robert. 2006.** *Diseño de elementos de máquinas.* México : Pearson, 2006.

—. **2006.** *Mecánica de fluidos.* México : Pearson, 2006.

—. **2006.** *Mecánica de Fluidos.* México DF : Pearson Education, 2006.

**NeumáticaR. NeumáticaR. [En línea]**  
[https://www.neumaticar.com/colombia/ficha\\_cilindro\\_mw\\_iso6432\\_8\\_3.php](https://www.neumaticar.com/colombia/ficha_cilindro_mw_iso6432_8_3.php).

**Ogata, Katsuhiko. 2003.** *Ingeniería de control moderna.* Madrid : Prentice Hall, 2003.

**Omegalfa. 2016.** Grupo Omegalfa. [En línea] 2016.  
[http://www.grupoomegalfa.com/ganchos\\_donas.php](http://www.grupoomegalfa.com/ganchos_donas.php).

**Patentados.com. 2016.** Patentados.com. [En línea] 2016.  
<http://patentados.com/patente/plataforma-carga-vehiculos-sistema-elevacion-descenso/>.

**R&J Trailers. 2002.** R&J Trailers.Inc. [En línea] 2002.  
<http://randjtrailers.com/cargo-craft-enclosed-trailer/explorer/5x8-cargo-craft-explorer-white-enclosed-trailer-with-rear-door/>.

**Real Academia Española. Real Academia Española. [En línea]**  
<http://dle.rae.es/?id=VukhNi2>.

**Rodríguez, Hugo. 2008.** *Características y especificaciones que deben cumplir los vehículos de autotransporte con base a la norma oficial mexicana NOM-012\_sct-2-2008.* Ciudad de México : INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL, 2008.

**Roldán, José. 1989.** *Neumática, Hidráulica y Electricidad Aplicada.* Ciudad de México : S.A. EDICIONES PARANINFO, 1989.

**Romeva, Carles Riva. 2002.** *Diseño concurrente .* Barcelona : Universidad Politecnica de Cataluña, 2002.

**Sánchez, Javier Enrique Orna. 2015.** Diseño construcción y control de un hexacóptero de monitoreo . [En línea] 9 de 14 de 2015. file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/CD-6343.pdf.

**Servicio Ecuatoriano de Normalización. 2016.** Servicio Ecuatoriano de Normalización. [En línea] 2016. [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/nte\\_inen\\_2656.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/nte_inen_2656.pdf).

**Teardrops. 2012.** Teardrops n Tiny Travel Trailers. [En línea] 2012. <http://tnttt.com/viewtopic.php?f=35&t=50946>.

**Universidad Nacional Autónoma de México.** [En línea] <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2548/011-MPM-Cap8-Final.pdf?sequence=11>.

## PLANOS