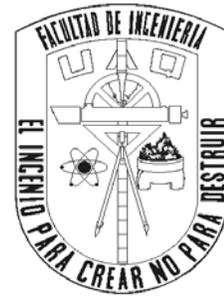


**Universidad Autónoma de
Querétaro**

Facultad de Ingeniería

Campus San Juan del Río



Tesis

Selección de suspensión para midibús

Que como requisito para obtener el título de:

Ingeniero Electromecánico

Línea terminal en Diseño y Manufactura

Presenta:

Pedro Avilés Guerrero

Dirigido por:

Dr. Miguel Trejo Hernández

San Juan del Río, Qro. Febrero 2015

RESUMEN

En este trabajo de tesis se presenta el desarrollo de la selección de componentes para la suspensión de un midibús dentro del proyecto Fomix Qro-2012-C01-193454.

Se evalúan distintas propuestas de estructura de suspensión, generadas para el estudio de la mejor distribución de los componentes que la conformarán la para cumplir con los objetivos propuestos para el proyecto, pero esencialmente lograr que la suspensión del midibús sea capaz de cambiar su altura y con ello facilitar el ascenso y descenso de los usuarios.

Cabe destacar que al tipo de resorte seleccionado, a ser utilizado para el midibús, se le aplica un análisis de cuarto de carro, con el cual se pretende observar la diferente reacción entre un resorte neumático y uno de metal, para validar de cierta forma el mejor desempeño de la suspensión neumática. Además, se considera la realización de otro análisis a la estructura de la suspensión y sus componentes, con el fin de observar la deformación y esfuerzos generados por las cargas estáticas aplicadas.

AGRADECIMIENTOS

En especial agradezco a mi mamá, papá, hermanos y a mi abuela que en paz descansen, por el apoyo brindado en los buenos y malos momentos durante este periodo de estudios en la carrera de Ingeniería Electromecánica.

También a mis compañeros y amigos con los que compartí momentos tanto buenos como malos durante la carrera.

A mi asesor Dr. Miguel Trejo Hernández y sinodales Dr. Antonio Romero Navarrete y Dr. Gerardo Israel Pérez Soto por la ayuda brindada para llevar a cabo este trabajo de tesis.

Finamente agradezco por la beca otorgada al CONACYT y a CONCYTEQ a través del Proyecto Fomix Qro-2012-C01-193454.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos particulares	3
1.3 Descripción del problema.....	4
1.4 Justificación	4
1.5 Planteamiento general	5
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
2.1 Tipos de transporte público urbano.....	7
2.2 Tendencias del transporte público urbano	11
2.3 El midibús	12
2.4 Tipos de suspensión	13
2.5 La suspensión neumática en aplicaciones automotrices	15
2.6 Normatividad en el diseño.....	16
2.7 Software de diseño de prototipos.....	16
2.8 Teoría de Von Mises.....	17
3. METODOLOGÍA.....	18

3.1 Selección del tipo de suspensión	18
3.2 Definición de las características a cumplir	19
3.3 Diseño en software de la suspensión.....	20
3.4 Selección de los componentes.....	30
3.5 Consideraciones para la fabricación de la estructura.....	33
3.6 Control de la suspensión.....	34
4. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	37
4.1 Análisis de cuarto de carro para comparación entre resorte metálico y resorte neumático	40
4.2 Análisis por elemento finito de estructura de suspensión para midibús	47
5. CONCLUSIONES.....	59
5. REFERENCIAS	61
7. APÉNDICE	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.3.1 Nomenclatura para clasificación del midibús (NOM-EM-033-SCT-2-2000).....	13
Tabla 3.4.1 Diagrama de curvas de altura, volumen, fuerza e imagen de resorte de aire propuesto (www.contitech.com.mx, 2013).....	31
Tabla 3.4.2 Valores técnicos del resorte neumático para el midibús (www.contitech.com.mx, 2013)	32
Tabla 4.1.1 Aplicaciones neumáticas para obtener valores de coeficientes de resorte neumático.....	40
Tabla 4.1.2 Tabla de comparación entre resorte neumático y resorte	40
Tabla 4.1.4 Datos utilizados para función de transferencia en Simulink, Matlab...	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.5.1 Esquema general del proyecto.....	6
Figura 2.4.1 Sistema de suspensión mecánica y componentes (NOM-068-SCT-2-2000).....	14
Figura 2.4.2 Sistema de suspensión neumática y componentes (NOM-068-SCT-2-2000).....	15
Figura 3.0.1 Diagrama de metodología	18
Figura 3.3.1 Primera propuestas para suspensión de midibús.....	21
Figura 3.3.2 Primera variante de la primera propuesta de midibús (Figura 3.3.1).	22
Figura 3.3.3 Segunda variante de la primera propuesta de suspensión de midibús (Figura 3.3.1).....	22
Figura 3.3.4 Tercera variante de primera propuesta de suspensión para midibús (Figura 3.3.1).....	23
Figura 3.3.5 Segunda propuesta de suspensión para midibús.....	24
Figura 3.3.6 Tercera propuesta de suspensión para midibús.	25
Figura 3.3.7 Cuarta propuesta de suspensión para midibús	26
Figura 3.3.8 Quinta propuesta de suspensión.....	27
Figura 3.3.9 Sexto modelo de propuesta para suspensión de midibús	28
Figura 3.3.10 Vista de altura mínima de estructura de midibús.....	28

Figura 3.3.11 Vista de altura máxima de estructura de midibús.....	29
Figura 3.3.12 Séptima propuesta de suspensión para midibús.....	30
Figura 3.4.1 Calculador de Continental para búsqueda de compatibilidad (www.contitech.com.mx, 2013)	31
Figura 3.5.1 Componentes de la suspensión propuesta para el midibús de cama baja.	34
Figura 3.6.1 Configuración general para válvulas de control Haldex 90054007, 90554334, 90054007P20 y 90054007P100 (Manual Haldex,2009).....	35
Figura 4.0.1 Banco de pruebas para inflado y desinflado de resorte neumático de prueba.....	37
Figura 4.0.2 Calculador de resorte neumático de la marca Continental.....	38
Figura 4.0.3 Conexiones de depósito de aire, válvulas de control de inflado y desinflado y resortes de aire	39
Figura 4.0.4 Parte de última propuesta de suspensión para midibús.....	39
Figura 4.1.1 Sistema de suspensión de dos grados de libertad.....	41
Figura 4.1.2 Diagrama de Simulink para representar mediante función de transferencia de cada tipo de resorte, utilizando el coeficiente mínimo en el resorte neumático.....	43
Figura 4.1.3 Código de Matlab para pasar datos al lugar de trabajo para mejorar la visibilidad de las gráficas.....	43
Figura 4.1.4 Gráficas de resorte neumático y resorte metálico, usando el coeficiente de rigidez para mínimo para el resorte de aire.....	44

Figura 4.1.5 Diagrama de Simulink para representar mediante función de transferencia de cada tipo de resorte, utilizando el coeficiente máximo en el resorte neumático.....	45
Figura 4.1.6 Gráficas de resorte neumático y resorte metálico con coeficiente de resorte neumático máximo.	46
Figura 4.2.2 Estructura y componentes de la estructura necesarios para el análisis en ANSYS Workbench.....	49
Figura 4.2.3 Estructura y componentes necesarios mallados para el análisis	50
Figura 4.2.4 Soportes fijos de la estructura y componentes.....	51
Figura 4.2.5 Detalle de soportes fijos.....	51
Figura 4.2.6 Presión aplicada sobre estructura de suspensión de midibús.....	52
Figura 4.2.7 Deformación total de la estructura de suspensión.....	53
Figura 4.2.8 Esfuerzos equivalentes de Von Mises de la estructura de la suspensión	53
Figura 4.2.9 Conjunto chasis-suspensión para análisis estructural estático.	54
Figura 4.2.10 Mallado de chasis y suspensión de midibús	55
Figura 4.2.11 Detalle de soportes fijos de chasis y suspensión	55
Figura 4.2.12 Aplicación de presión de 80533 Pa sobre la superficie del chasis y la suspensión	56
Figura 4.2.13 Deformación total de chasis y suspensión	57
Figura 4.2.14 Esfuerzos equivalentes de Von Mises en chasis y suspensión.....	57

1. INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo, el ser humano ha buscado distintas formas de trasladarse de un sitio a otro de una manera cada vez lo más rápida, confortable, eficiente, de bajo costo, adecuada para los lugares a los que se transporta y muchas otras características relacionadas con la ergonomía y los bajos costos durante sus viajes y de mantenimiento del medio de transporte, ya sea como operador (conductor, chofer, transportista, taxista, etc.) o también como pasajero (turista, acompañante, viajero, etc.), por supuesto sin dejar a un lado la seguridad e integridad de los usuarios que es la esencia del desarrollo y evolución de las formas de transportarse que están a su vez muy relacionadas con la tecnología desarrollada para el transporte de los individuos de distintas sociedades y culturas.

Como el transportarse es una necesidad, la eficiencia de transportarse es acorde a factores como la rapidez, costos bajos, comodidades ya sea como operador del medio de transporte o del pasajero, seguridad e integridad. Ya que las formas de transportarse son tan buenas de acuerdo al medio por el que se desee trasladar (acuático, terrestre o aéreo), el tipo de carga que desea mover (ligera, pesada, frágil, peligrosa, sencilla, orgánica, etc.), para uso particular o privado, etc.

Por lo tanto, ha habido la necesidad de desarrollar industrias y marcas dedicadas a la venta de estos productos, cubriendo las necesidades y las exigencias de los individuos de distintas sociedades, necesidades que han sido cubiertas por lo general por los avances en la tecnología conocida y desarrollada en las distintas épocas a lo largo de la historia.

Por lo cual, uno de los propósitos del proyecto de la sección de suspensión para midibús es cubrir algunas de las características de calidad en uno de los medios de transporte más utilizados, el transporte colectivo urbano. Con el uso de la propuesta de suspensión se busca dar un fácil acceso al

camión, pues con la nueva propuesta de suspensión se habilita controlar durante los momentos de ascenso y descenso la altura del midibús.

1.1 Antecedentes

Las suspensiones en los transportes colectivos urbanos desde sus inicios eran demasiado robustas y poco confortables al ayudar a absorber las irregularidades de los caminos difíciles (terracerías, empedrados, topes, baches, etc.) en las que se desplazaban, pero por lo general eran de bajo costo en cuanto adquisición y mantenimiento, con el tiempo fueron mejorando.

Por lo tanto, en este proyecto se busca mejorar la suspensión a los medios colectivos urbanos comunes de transporte, mediante el desarrollo del proyecto principal del midibús de cama baja que facilite la traslación de los usuarios y además permita un fácil ascenso y descenso del vehículo.

Algunos de los trabajos relacionados con el tema de la suspensión neumática son los siguientes.

1.- La tesis “Especificaciones de diseño para vehículos de transporte público” para maestría de diseño industrial de la UNAM (Martínez, 2009). En este trabajo el autor muestra herramientas para realizar un buen trabajo de diseño vehicular, ya que desde el punto de vista carecen de especificaciones como dimensiones, materiales, acabados, señalizaciones que permitan a los usuarios transportarse adecuadamente.

2.- La tesis “Validación de componentes para una suspensión neumática en un vehículo utilitario” para ingeniero mecánico, IPN, México (Pimentel, 2007). Su trabajo habla de por qué se debe utilizar una suspensión de este tipo, pues argumenta que mejora el confort en los caminos en los que transportes públicos nacionales transitan y necesitan proporcionar calidad a los usuarios también.

3.- La tesis “Caracterización y control activo de una suspensión neumática” para grado de doctorado UCLM, en España (Nieto, 2010). Aborda el problema del aislamiento de vibraciones focalizado en las suspensiones neumáticas como elemento atenuador, construyendo un modelo sobre el esquema de suspensión neumática.

1.2 Objetivos

Los objetivos del proyecto de suspensión para midibús se presentan a continuación en los puntos 1.2.1 y 1.2.2.

1.2.1 Objetivo general

Seleccionar, diseñar y proponer el tipo de suspensión neumática más adecuada para adaptar la carrocería de un midibús a diferente altura, facilitando con ello que el usuario de dicho transporte, con o sin discapacidad, tenga mayor facilidad para ascender o descender del midibús.

1.2.2 Objetivos particulares

Para lograr el objetivo general planteado, se requiere cumplir con los siguientes objetivos particulares:

1. Seleccionar los componentes adecuados para la suspensión, que sean lo menos costosos posibles, pero sin sacrificar confiabilidad y calidad de los componentes.

2. Diseñar una suspensión neumática que sea de fácil instalación, manufactura y mantenimiento, para que el vehículo baje lo más permisible y con ello facilitar el ascenso y descenso de los usuarios.
3. Realizar animaciones de funcionamiento para identificar y corregir detalles que provoquen fallas en la estructura por cargas estáticas, conflicto de movimiento entre componentes, etc, esto mediante el uso de software apropiado como Unigraphics , ANSYS , Inventor o similares.
4. Realizar el modelado y simulación matemática en Matlab de un cuarto de carro entre un resorte neumático y uno metálico, para verificar su comportamiento.

1.3 Descripción del problema

La suspensión de resortes de muelles convencional, para un medio de transporte urbano como es el midibús, resulta complejo de rediseñarla para que realice la función de levantar y bajar continuamente el vehículo. Lo anterior se puede resolver utilizando una suspensión neumática en la cual el control de altura del vehículo es posible y más sencillo. Por lo general, el transporte urbano no está diseñado para atender a personas que cuenten con algún tipo de discapacidad y es por ello que se propone el diseño de un midibús de cama baja con esta característica de poder modificar su altura a través del uso de la suspensión neumática, brindando con ello la accesibilidad al público en general y a personas con discapacidad.

1.4 Justificación

Este proyecto, enmarcado dentro del FOMIX QRO-2012-C01-193454, está propuesto para atender los detalles que presenta una suspensión convencional de muelles como el no poder hacer que el vehículo descienda y

ascienda para lograr baja y subir de él con facilidad. Una suspensión neumática cubre de mejor manera este requisito y beneficiando al usuario final.

El presente desarrollo está dirigido para usuarios en general y con discapacidad; ya que el midibús contará con un sistema de control que adecuará la altura del vehículo y con ello hacer el ascenso y descenso de los usuarios más fácil que en un medio de transporte urbano convencional en el cual se requiere subir dos o tres escalones para ingresar al área los asientos.

En un proyecto previo desarrollado en la Universidad Autónoma de Querétaro, se mostró que la suspensión de muelles presenta problemas de tracción al momento de pasar sobre superficies como topes, pues el eje de tracción no se situó en la posición adecuada para lograr contacto con la superficie debido a que tal suspensión convencional no resulta ser lo suficientemente rígida para regresar el eje de tracción.

Por lo mencionado anteriormente, surge la necesidad de proponer el uso de suspensión neumática que busca resolver tales problemas.

1.5 Planteamiento general

Un panorama general del proyecto se presenta en la Figura 1.5.1, donde se involucra el hecho de seleccionar los componentes más adecuados para el midibús, buscando un buen equilibrio entre costo y calidad, evitando sacrificar cualquiera de las dos cualidades a alcanzar; posteriormente se propondría la estructura de la suspensión basándose en el uso de software de simulación y un análisis matemático breve en Matlab comparando la suspensión neumática y una de muelles.

Todo lo anterior se toma en cuenta para una buena instalación de componentes y con ello garantizar los objetivos previamente planteados. También se tendrá la parte de pruebas de altura teniendo todo previamente instalado.

Finalmente dejar claro que el proyecto de la suspensión del proyecto principal del midibús cumpliría con normas nacionales de tránsito sin ningún problema y que se apega a los objetivos previamente propuestos.

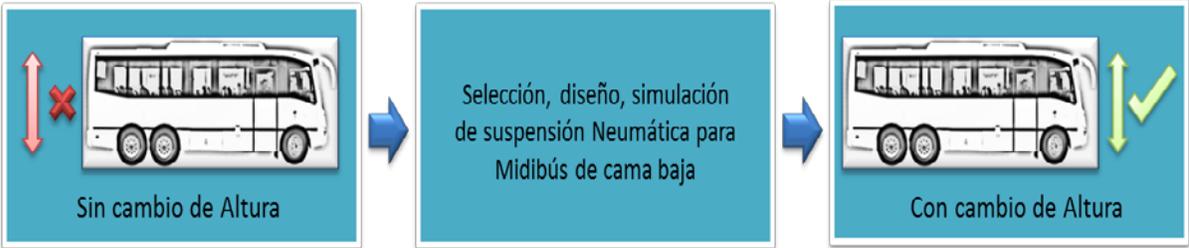


Figura 1.5.1. Esquema general del proyecto

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En esta sección se definirá la teoría que proporcionará una mejor idea de los conceptos y propósitos para la implementación del trabajo, sirviendo además, de apoyo en la comprensión de diversos conceptos fundamentales para el presente desarrollo.

2.1 Tipos de transporte público urbano

La definición de transporte hace referencia al traslado de personas o bienes de un lugar a otro, por lo general incluye conceptos de infraestructura, vehículos y operaciones. Pero el transporte público en general es aquel que puede ser utilizado por cualquier persona por pagar una cantidad de dinero y adaptarse a horarios y lugares de abordaje; a lo contrario que es el transporte privado en el que las personas particulares adquieren el medio de transporte y es utilizado por sus dueños (Abonce,2009).

El transporte público urbano se ha caracterizado por ser una parte importante del desarrollo urbano, pues la estructura social, económica y oficios urbanos han revolucionado los medios de transporte públicos urbanos, pues las grandes concentraciones de personas día con día aumentan en las urbes y por lo tanto se necesita una mayor eficiencia para que las personas se puedan transportar de una mejor manera, ya que el transporte urbano público une los miembros de una sociedad con otra (Abonce,2009).

El transporte urbano se puede analizar desde dos puntos de vista: oferta y demanda. Tal demanda está integrada por los distintos tipos de transporte que ofrece la ciudad a sus habitantes e infraestructuras.

De acuerdo con el volumen de la demanda se distinguen 3 niveles: bajo, medio y alto. Los valores de cada nivel pueden variar en función del criterio que se considere y también en función del área metropolitana o urbana de la que se trate.

También, otra clasificación del transporte público urbano es el de colectivo o de alquiler.

Por tipo de servicio se tiene:

1.- Según las rutas y viajeros de servicios: transporte en la zona centro, transporte urbano y transporte interurbano.

2.- Según las paradas y tipo de operación: locales, acelerados y exprés directos.

3.- Según el tipo de operación: regulaciones, servicios de horarios y servicios especiales.

Dentro de las modalidades de transporte urbano cabe destacar las siguientes:

1.- Marcha a pie: supone un alto porcentaje de los desplazamientos en una ciudad.

2.- Dos ruedas: el desplazamiento en bicicleta es una forma de viaje tradicional e importante en muchos países. También dentro de esta categoría cabe resaltar a las motocicletas aunque estas son impulsadas por un motor de combustión generalmente.

3.- Automóvil: es otro medio de transporte urbano que consume más espacio. Es cómodo y rápido, cuando no hay tránsito excesivo. Y lo más importante socialmente apreciado.

4.- Taxi: se usa para complementar la red de transporte público.

5.- Autobús: es el modo de transporte más común en todas las ciudades del mundo. Puede actuar como medio único de transporte colectivo de una ciudad, o como complementario de uno de mayor capacidad como el metro. Es de gran flexibilidad en todos los aspectos, en cuanto al itinerario, explotación y la demanda. Tiene gran rendimiento en cuestión de ocupación de espacio y grandes posibilidades de cobertura en las ciudades.

6.-Metropolitano: es el gran medio de transporte para las grandes ciudades. Es el medio más adecuado para la atención de los grandes flujos alternantes que se producen en las grandes ciudades y áreas metropolitanas. Es un modo de transporte de conducción fija, sobre rieles, con tracción eléctrica y toma de una red, y normalmente subterráneo. Su gran ventaja es la capacidad de transporte que puede ofrecer. Su inconveniente es el elevado coste de construcción.

7.- Ferrocarril suburbano: es utilizado en grandes áreas metropolitanas donde se asientan los viajeros que fijan sus residencias en las afueras de las grandes ciudades y deben desplazarse diariamente a sus núcleos de trabajo (Cendreno , 2008).

En lo que concierne a los tipos de transporte público de la ciudad de México, puesta a ejemplo por su tamaño, los más representativos son:

1.- Metro: Es sin duda el sistema de transporte más importante de la Ciudad de México al transportar diariamente más de 8 millones de usuarios en sus 11 líneas. Este sistema de transporte opera los 365 días del año. Asimismo es el medio de transporte más rápido y económico, permitiendo el recorrido de los trayectos más largos.

2.- Metrobús: Es el sistema de transporte más reciente en la metrópoli. Consta de camiones articulados que circulan por un carril exclusivo. Es uno de los

transportes más rápidos en la ciudad sin embargo generalmente se encuentra muy lleno.

3.- Microbús, Micro o pesero: Este transporte característico de la ciudad funciona por medio de redes de camiones chicos con una capacidad de 24 personas aproximadamente. Circulan prácticamente por todas las calles medianas y grandes de la ciudad y tienen la ventaja de realizar paradas continuas a voluntad del usuario. Son útiles como complemento a la red del metro al localizarse terminales de estos camiones a la salida de las principales estaciones, permitiendo un mayor acercamiento al destino. Tienen la desventaja de ser incómodos al ir generalmente atestados y ser conducidos con escasa precaución. La mayor parte de estos camiones son de modelos antiguos sin embargo cada vez son más las unidades nuevas y cómodas.

4.- Camión RTP: Este transporte parte de las principales estaciones del metro enlazando algunas de estas líneas de esta red o partiendo de estas para dirigirse a los puntos de mayor afluencia de personas de la ciudad.

5.- Trolebús: La Red de Servicio cuenta con 15 Líneas de Trolebuses con una longitud de operación de 453.85 Km. La flota vehicular programada en la red es de 405 trolebuses, los cuales operan a un intervalo de paso promedio de 5 minutos, todas dentro del Distrito Federal. Este medio de transporte no contamina al ser conducido por un cable eléctrico, es rápido y cómodo. Circula por algunos de los principales ejes viales.

6.- Tren Ligero: El Tren Ligero forma parte de la red del Servicio de Transportes Eléctricos del Distrito Federal, el cual opera en el Sur de la Ciudad de México prestando un servicio de transporte no contaminante a la población de las Delegaciones Coyoacán, Tlalpan y Xochimilco, brindando su servicio a través de 16 estaciones y 2 terminales, mediante 16 trenes dobles acoplados con doble cabina de mando con capacidad máxima de 374 pasajeros por unidad.

7.- Taxi: Ofrecen servicios en todas las calles y zonas de la ciudad, sin embargo en ocasiones es necesario acercarse a una avenida muy transitada para encontrar alguno libre. Es un medio de transporte cómodo pero caro. De preferencia deben tomarse taxis de sitio cuyo costo es más elevado pero son más seguros.

8.- Turibús: Este sistema de transporte permite una visión general de los principales atractivos de la ciudad. Consta de autobuses de dos niveles con la parte superior descubierta y guías en varios idiomas.

9.- Cicloestaciones: Este proyecto es la más reciente apuesta del Gobierno del Distrito Federal para fomentar el uso de la bicicleta como medio de transporte. Hasta el momento los resultados han sido muy positivos al ser bien recibidos por los habitantes de la ciudad y sus visitantes. Solo se deben presentar dos identificaciones a cambio de la bicicleta y el casco, todo de manera gratuita por tres horas (<http://www.ciudadmexico.com.mx>, 2014).

2.2 Tendencias del transporte público urbano

Dentro de las tendencias del transporte público urbano, cabe destacar que busca ser más eficiente y de alguna manera más sustentable, lo cual solo se puede lograr al presentar diversidad de alternativas para los usuarios. Por lo tanto, el transporte público urbano requiere tener las siguientes características de sustentabilidad:

- 1.- Debe estar en armonía con uso del suelo y el tejido urbano.
- 2.- Cuidar del medio ambiente, controlar las emisiones por su uso y también evitar agresiones al medio urbano.
- 3.- Debe también buscar la integración entre el transporte privado, peatones y otros transportes públicos.

4.- Buscar el uso de nuevas y mejores tecnologías para evitar la contaminación por emisiones y consumibles del medio de transporte que no tengan consecuencias en el medio ambiente y el medio urbano, además de utilizar nuevas formas de combustible sustentable y reducir la cantidad de consumo.

5.- También se busca sean económicamente viables tanto para los usuarios como para los dueños de los transportes públicos, además de generar un alto impacto social.

6.- Cumpliendo todo lo anterior, mejorar la calidad de funcionamiento y en consecuencia la calidad de vida de los ciudadanos (Abonce, 2006-2009).

2.3 El midibús

De acuerdo con la NOM-EM-033-SCT-2-2002 y NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, norma referente al transporte terrestre, límites máximos de velocidad para los vehículos de carga, pasaje y turismo que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal, la definición de midibús es la siguiente:

Midibús:

Definido con la nomenclatura de acuerdo con la norma mexicana como Midibús (M), es un vehículo automotor de seis o más llantas, de estructura integral o convencional con capacidad mínima de 16 y máxima de 30 personas (NOM-EM-033-SCT-2-2000).

Aunque en la NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999 también define los siguientes conceptos variantes del midibús:

Midibús convencional:

Es un vehículo automotor de seis o más llantas, conformado por un chasis que incluye el tren motriz, suspensión, sistema de frenos neumáticos, equipo y

accesorios para su operación, al cual se le ensambla una carrocería (NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999).

Midibús integral:

También es un vehículo automotor de seis o más llantas, de estructura integral que incluye el tren motriz, suspensión, etc., (NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999).

La tabla 2.3.1 muestra la nomenclatura utilizada en la NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999 para hacer referencia al midibús.

MIDIBUS (M)			
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS	CONFIGURACION DEL VEHICULO
M2	2	6	

Tabla 2.3.1 Nomenclatura para clasificación del midibús (NOM-EM-033-SCT-2-2000).

2.4 Tipos de suspensión

Lo primero es definir el concepto de suspensión. En cuanto a vehículos, tiene como objetivo el impedir que las irregularidades del camino en el que se desplaza el vehículo se transmitan a la carrocería, además de con ello aumenta el confort de los usuarios durante su traslado en el vehículo, siendo a su vez parte fundamental de la seguridad del vehículo al ayuda a mantener las llantas adheridas a la superficie en la que se traslada. Por lo general se encuentra entre la carrocería y los ejes de las ruedas. Las funciones básicas de la suspensión son las siguientes:

- 1.- Reducir las fuerzas que causan las irregularidades del camino.
- 2.- Controlar la dirección del vehículo.

- 3.- Mantener las ruedas adheridas al camino.
- 4.- Mantener la alineación de las ruedas del vehículo.
- 5.- Soportar la carga del vehículo.
- 6.- Mantener la altura óptima del vehículo (www.monroe.com/es,2013).

Los tipos de suspensiones marcadas por la Norma Oficial Mexicana NOM-068-SCT-2-2000, Transporte Terrestre-Servicio de autotransporte federal de pasaje, turismo, carga y transporte privado, condiciones físico-mecánicas y de seguridad para la operación en caminos y puentes de jurisdicción federal son las siguientes:

- 1.- Sistema de suspensión convencional mecánica: La suspensión con resortes de láminas se diseñan de dos maneras: multilamina y monolamina. El resorte multilamina está hecho de varias placas de acero de diferentes longitudes apiladas unas sobre otras. Durante su funcionamiento normal, el resorte se comprime para absorber los impactos del camino. Los resortes de láminas se arquean y deslizan unos sobre otros permitiendo el movimiento de la suspensión (www.monroe.com/es,2013).

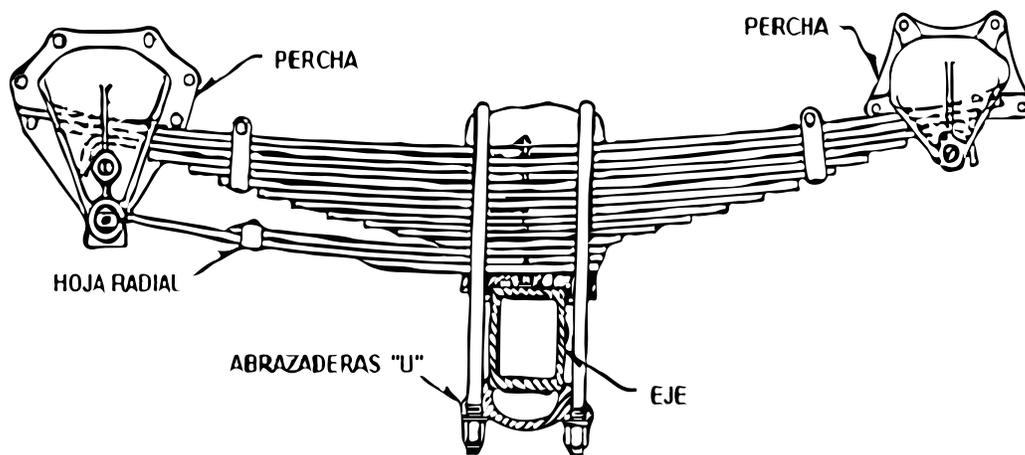


Figura 2.4.1 Sistema de suspensión mecánica y componentes (NOM-068-SCT-2-2000).

- 2.- Sistema de suspensión neumática: La suspensión con resortes de aire que se está volviendo popular en autos de pasajeros, camiones ligeros y

camiones pesados. Se trata de un cilindro de caucho lleno de aire comprimido. Un pistón sujeto al brazo de control inferior se mueve hacia arriba y hacia abajo con el brazo de control inferior, lo cual hace que el aire comprimido realice la función como la de un resorte. Si la carga del vehículo cambia, una válvula ubicada en la parte superior de la bolsa de aire se abre para añadir o liberar aire del resorte neumático. Lleva un compresor de aire para suministro de aire comprimido (www.monroe.com/es,2013).

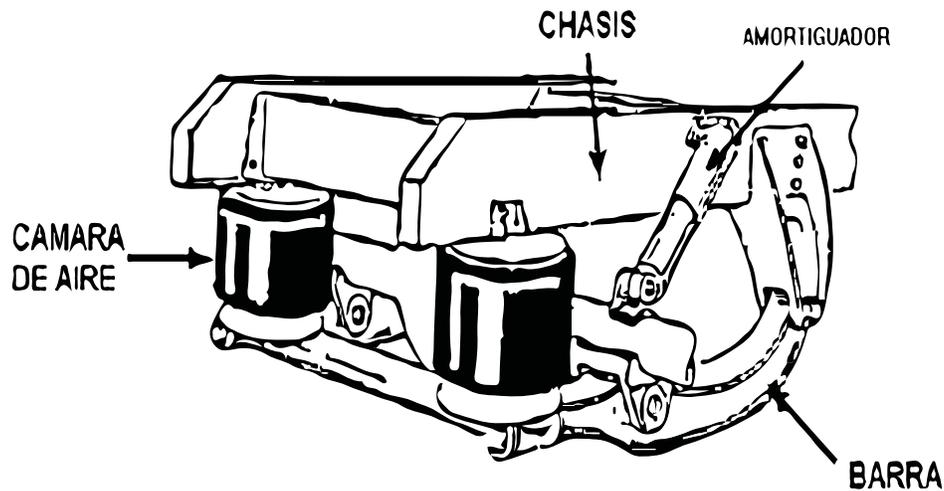


Figura 2.4.2 Sistema de suspensión neumática y componentes (NOM-068-SCT-2-2000).

2.5 La suspensión neumática en aplicaciones automotrices

La neumática es la tecnología en la que se utiliza el aire comprimido para generar un movimiento controlado empleando cilindros y/o motores neumáticos para aplicaciones de herramientas (como el uso de taladros neumáticos, martillos neumáticos), válvulas de control y posicionadores, pistolas para pintar, aerografiar, herramienta de impacto, elevadores, asientos para autos de lujo o asientos de conductor de algunos transportes, sistemas hidroneumáticos de prensas, gatos hidroneumáticos.

El sistema de suspensión neumática es muy utilizado en la parte trasera de camiones rígidos, tractocamiones, autobuses foráneos y semirremolques para eje sencillo, tandem y tridem. También existen suspensiones neumáticas

delanteras para autobuses foráneos y en algunos casos para tractocamiones, debido a que garantiza una conducción suave sin importar si va cargado o no el vehículo, lo que proporciona una disminución de daños en la cinta asfáltica de las carreteras. Sus elementos importantes son: cámaras o fuelles, válvula niveladora y líneas de aire (www.alianzaflotillera.com, 2013).

2.6 Normatividad en el diseño

Dentro de la normatividad a seguir se tiene en cuenta la Norma Oficial Mexicana NOM-068-SCT-2-2000, Transporte Terrestre-Servicio de autotransporte federal de pasaje, turismo, carga y transporte privado, además de condiciones físico-mecánicas y de seguridad para la operación en caminos y puentes de jurisdicción federal” en cuanto a características de la suspensión del midibús principalmente. Y también otra norma mexicana en cuenta es la “NOM-EM-033-SCT-2-2002 de Transporte terrestre-Límites máximos de velocidad para los vehículos de carga, pasaje y turismo que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.

2.7 Software de diseño de prototipos

El software de diseño puede ser cualquiera que presente las herramientas necesarias para realizar, diseñar y mostrar el proyecto de suspensión, puede ser cualquiera del tipo CAD (*Computer Aided Design*), solo por mencionar algunos como Autocad, Inventor, Solidworks, NX, Catia, etc. Además del uso de Solidworks 2013 para hacer la simulación de movimiento del prototipo de la suspensión propuesta, para la elaboración de los modelos de las piezas de la suspensión se utilizaría el programa Unigraphics NX6, mismo que sería usado posteriormente en la realización de animaciones del modelo de la suspensión y de su unión con el chasis para observar el movimiento de ambos componentes.

Dentro del análisis de elemento finito se utilizaría el programa de ANSYS 13 con la parte de Workbench y análisis estático para analizar las deformaciones por cargas estáticas y esfuerzos de la suspensión y la suspensión con el chasis.

2.8 Teoría de Von Mises

Debido a que en el desarrollo del trabajo se recomendará utilizar acero estructural ASTM A36, es necesario tener el conocimiento de la Teoría de Von Mises, ya que dicha teoría sirve para ser aplicada en esfuerzos y deformaciones al usar ANSYS Workbench.

Esta teoría de falla es conocida como teoría de la energía de distorsión o teoría de energía cortante. Aplicarla es sólo un poco más difícil que aplicar la del esfuerzo cortante máximo, y es la más conveniente para el caso de materiales dúctiles. Como la del esfuerzo cortante máximo, ésta se emplea sólo para definir el principio de fluencia (Shigley , 1985). La teoría de la distorsión se originó a partir de la observación de los materiales dúctiles, sometidos a esfuerzo hidrostático (de igual tensión o compresión). La fluencia está relacionada de algún modo con la distorsión (o deformación angular) del elemento esforzado. Una de las primeras teorías de falla afirma que la fluencia se inicia cuando la energía total de deformación, almacenada en el elemento esforzado, llega a ser igual a la energía elástica que hay en el elemento contenido en una probeta de tensión en el punto de cedencia. Esta teoría denominada teoría de la energía máxima de deformación (Shigley Joseph Edward, 1985), fue precursora de la teoría de energía de distorsión.

Para estudios de análisis y diseño conviene definir el concepto de esfuerzo de Von Mises para esfuerzos biaxiales a partir de la Ecuación 2.a:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_A^2 - \sigma_A\sigma_B + \sigma_B^2} \quad (2.a)$$

Y para esfuerzos triaxiales la Ecuación 2.b:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (2.b)$$

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se plantean las características a cumplir en el proyecto para lograr los objetivos propuestos. En la Figura 3.0.1 se presenta la metodología a seguir y cada punto se describe en las siguientes secciones.

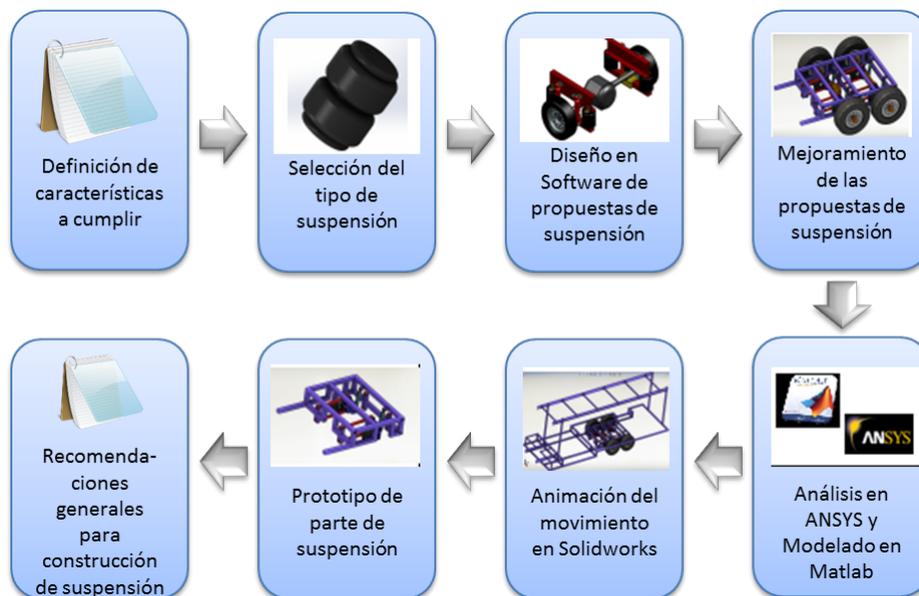


Figura 3.0.1 Diagrama de metodología

3.1 Selección del tipo de suspensión

Desde el principio de la investigación se ha pensado en el uso de una suspensión neumática, esto debido a que en la experiencia del autobús de biocombustible desarrollado por la UAQ, no se tuvo buen desempeño al momento de que ésta se desplazara sobre superficies de diferente nivel. Por tal motivo se ha definido, con la información que se tiene, el utilizar una suspensión neumática con componentes mecánicos necesarios tales como soportes de la suspensión y diversos componentes, barras estabilizadoras tanto en la parte trasera como la delantera. Por otro lado también cabe la posibilidad de adaptar un sistema de

suspensión o soportes de marcas comerciales que están enfocadas solo a suspensiones ya sea mecánicas o mixtas (neumática -mecánica).

Por lo tanto la selección de la suspensión queda con tendencias a una suspensión mixta para un mejor funcionamiento, para que la suspensión y sus componentes logren absorber las irregularidades del camino.

Finalmente cabe destacar que para el fin de este proyecto, que es dar un fácil descenso y ascenso a los usuarios en general o con alguna discapacidad, la suspensión neumática facilita el controlar la altura del vehículo pues cuenta con válvulas para llenar y vaciar los resortes neumáticos.

3.2 Definición de las características a cumplir

Dentro de las características cabe destacar que se debe cumplir con lo siguiente:

1.- Con las normas mexicanas dedicadas a regir los vehículos que se transportan por los caminos del territorio mexicano como la “Norma Oficial Mexicana NOM-068-SCT-2-2000, Transporte terrestre-Servicio de autotransporte federal de pasaje, turismo, carga y transporte privado”, NOM-033-SCT-2-2000 “Transporte terrestre-límites máximos de velocidad para los vehículos de carga, pasaje y turismo que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal” y NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999 “ Transporte terrestre-servicio de autotransporte económico y mixto-midibús características, especificaciones técnicas y de seguridad ”.

2.- Ofrecer una mayor facilidad de ascenso y descenso que los transportes públicos urbanos y/o estar al nivel de los que ya están en el mercado.

3.- Brindar otra opción a los usuarios para que comiencen a tener confianza de utilizar este tipo de transporte con tecnología diferente a la convencional.

4.- Que la suspensión neumática sea de fácil mantenimiento y además que su mantenimiento no sea excesivamente caro y complejo.

5.-Que la sustitución y compatibilidad entre componentes sea buena entre marcas, es decir, apostar por marcas que tienen ya experiencia y mercado estable y que tengan compatibilidad de preferencia entre varias marcas.

6.- Que el público en general pueda utilizar este medio de transporte, pero que las personas discapacitadas tengan la facilidad de utilizar el midibús como cualquier otra persona.

3.3 Diseño en software de la suspensión

La suspensión de la parte trasera del midibús es en la que se enfocarán las propuestas de suspensión, porque la suspensión de la parte frontal del midibús será la del camión Ford F-350 con la modificación de cambio de resortes helicoidales por resortes neumáticos para la variación de la altura y con ello coordinar la altura entre la parte trasera y delantera del midibús para que los usuarios puedan subir y bajar con mayor comodidad.

La primera propuesta describe un modelo de suspensión de un solo eje con una llanta por lado para la parte trasera de la suspensión, doble amortiguador y doble bolsa de aire, se propone de tal manera que los resortes y amortiguadores funcionen como balancines. La forma de sujetar el eje trasero con el soporte base donde se encuentran los amortiguadores y resortes neumáticos es mediante sujetadores tipo "U". Además, la propuesta presenta un perfil "C" para soportar la parte superior de los amortiguadores, resortes de aire, válvulas reguladoras de

altura, tuberías y el piso del midibús. La Figura 3.3.1 muestra la apariencia de la primera propuesta de suspensión para el midibús.

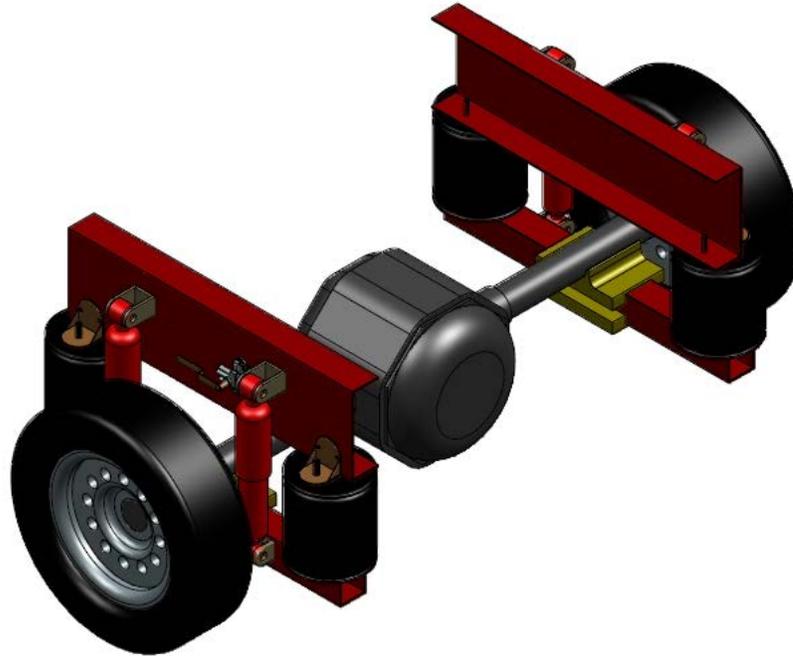


Figura 3.3.1 Primera propuesta para suspensión de midibús.

Las siguientes propuestas de suspensión son variantes del presentado en la Figura 3.3.1. La variante de la primera propuesta solo aumenta una llanta para cada lado del eje para ayudar a soportar las cargas a las que se sometería el vehículo, tal propuesta está representada en la Figura 3.3.2.

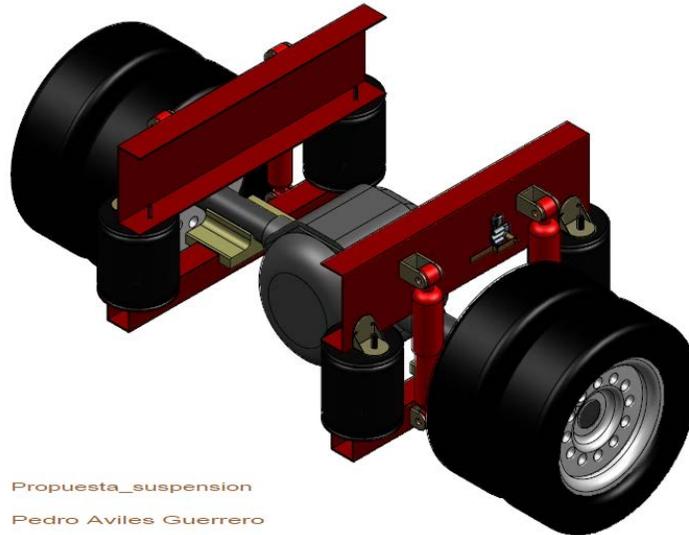


Figura 3.3.2 Primera variante de la primera propuesta de midibús.

La segunda variante de la primera propuesta de suspensión de midibús corresponde a la Figura 3.3.3 que muestra simplemente el uso de otro eje trasero para distribuir la carga con una llanta por cada lado de caja eje, además de sus respectivos amortiguadores, resortes de aire y válvulas de control de altura.

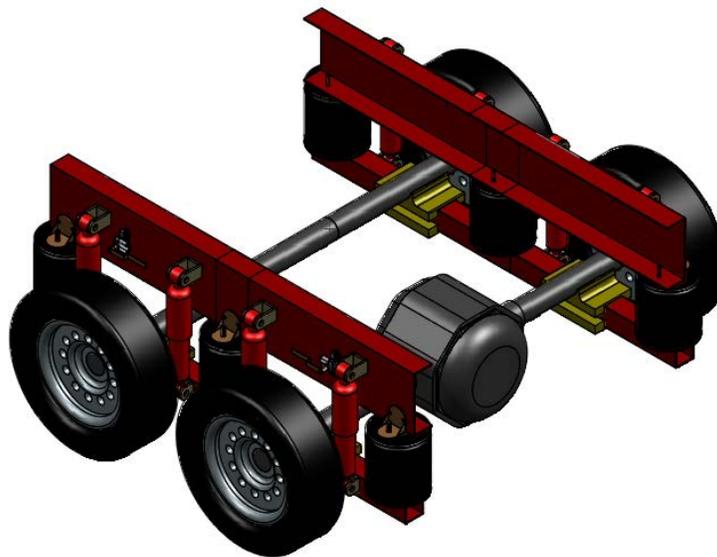


Figura 3.3.3 Segunda variante de la primera propuesta de suspensión de midibús.

La última variante de solo presenta un aumento de llanta por cada lado y por cada eje como se muestra en la Figura 3.3.4.

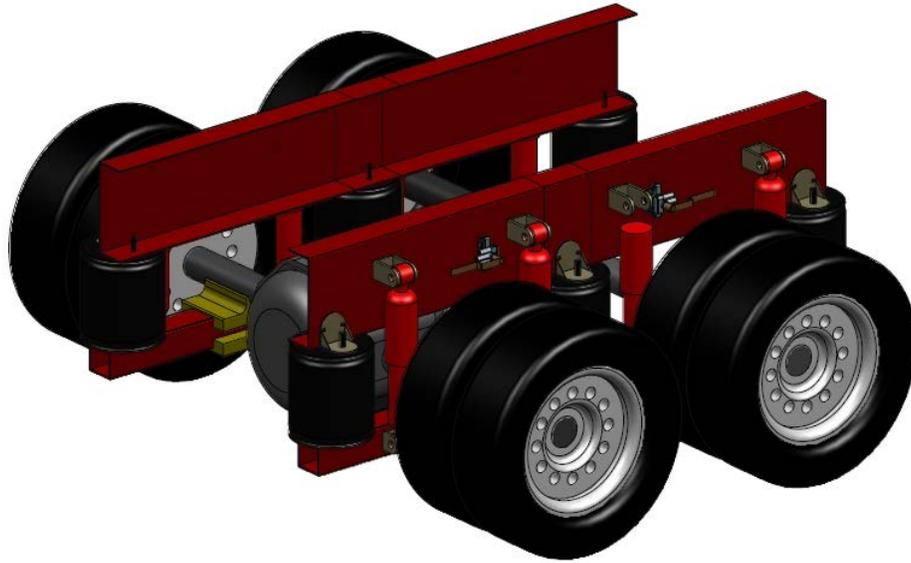


Figura 3.3.4 Tercer variante de primera propuesta de suspensión para midibús.

La primera propuesta y sus variaciones son bastante simples por el hecho de que solo aumentan cantidad de componentes como ejes, llantas amortiguadores, resortes, etc; pero como se requieren demasiados componentes esta propuesta se considera como no apta para los objetivos propuestos, pues al tener demasiados componentes resulta ser muy costosa en manufactura y posteriormente muy costosa en mantenimiento.

La segunda propuesta de suspensión para el proyecto del midibús está basada en la medida del eje trasero de la camioneta Ford F-350, en la cual se piensa utilizar una sola bolsa de aire por cada lado de los ejes traseros, un amortiguador por cada una de las llantas y la sujeción de los ejes a la estructura por medio de tornillos tipo “U”. La estructura de la suspensión es menos robusta que la primera propuesta y sus variantes, se propone el uso de PTR cuadrado de 2.5 pulgadas y espesor de 3 mm. La segunda propuesta de la suspensión para midibús se muestra en la Figura 3.3.5.

El inconveniente de esta suspensión es el uso de una sola bolsa por lado, que los dos ejes traseros están sobre el mismo soporte, por lo tanto un solo

resorte actúa para dos llantas y solo por inspección visual se aprecia que ayudará solamente al eje más cercano y el otro queda prácticamente rígido y presentaría problemas al momento de pasar superficies como topes. Otro detalle es que ningún componente evita que los ejes se giren o desplacen al momento de avanzar o frenar lo cual daña los ejes.

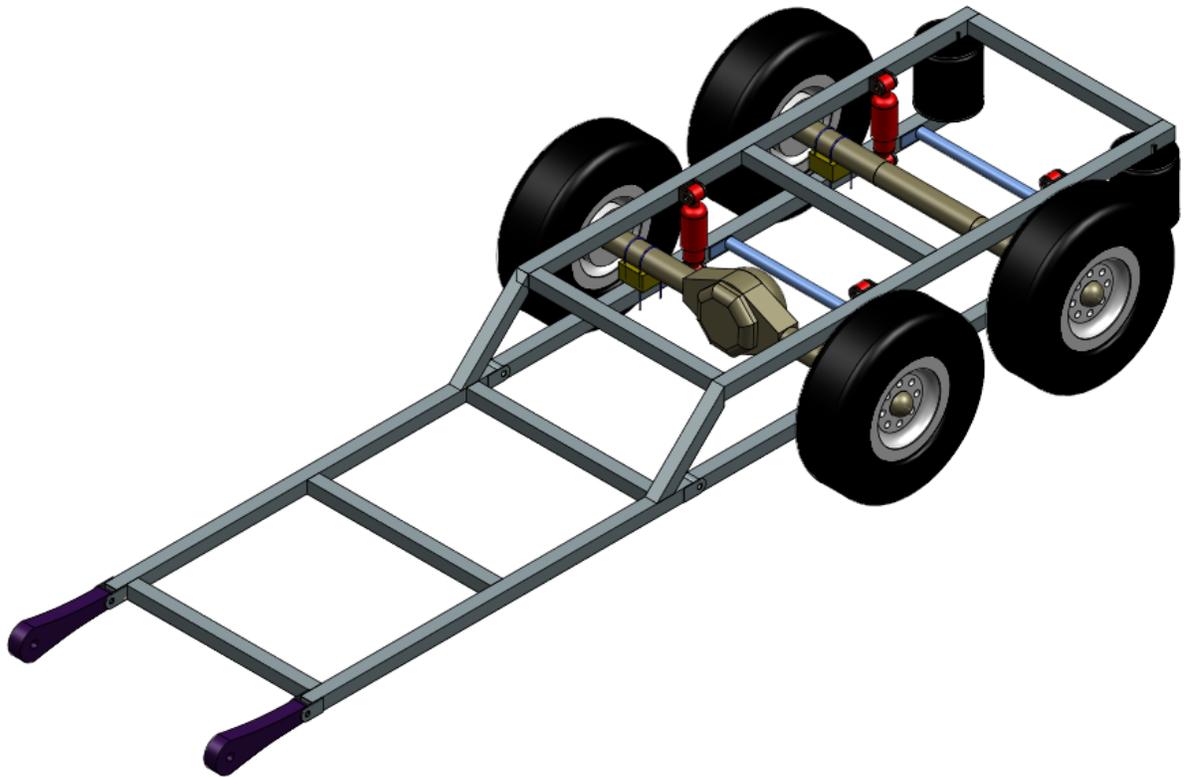


Figura 3.3.5 Segunda propuesta de suspensión para midibús.

Por lo tanto, se modifican algunos los componentes de la segunda propuesta de suspensión, dando lugar a la tercera propuesta.

Tomando los detalles de la segunda propuesta se realizan cambios, como quitar la dependencia entre ejes traseros, además colocar soportes para evitar el giro de los ejes y dañarlos. Sin embargo, el inconveniente encontrado en la tercera propuesta es que al hacer la suspensión independiente entre los ejes

traseros se separaran más con el tipo de horquilla propuesta para sujetarlos con el tren motriz. Pero con esta forma de sujeción se logra que la estructura del chasis baja. La Figura 3.3.6 muestra la nueva propuesta de suspensión para midibús. La estructura de la suspensión es similar a la segunda propuesta, lo que cambia son las horquillas que sujetan a los ejes traseros, las barras colocadas en la parte superior de los ejes para evitar que se giren al frenar y acelerar, y las barras estabilizadoras que unen las horquillas de cada eje de lado a lado para evitar movimientos laterales de las horquillas.

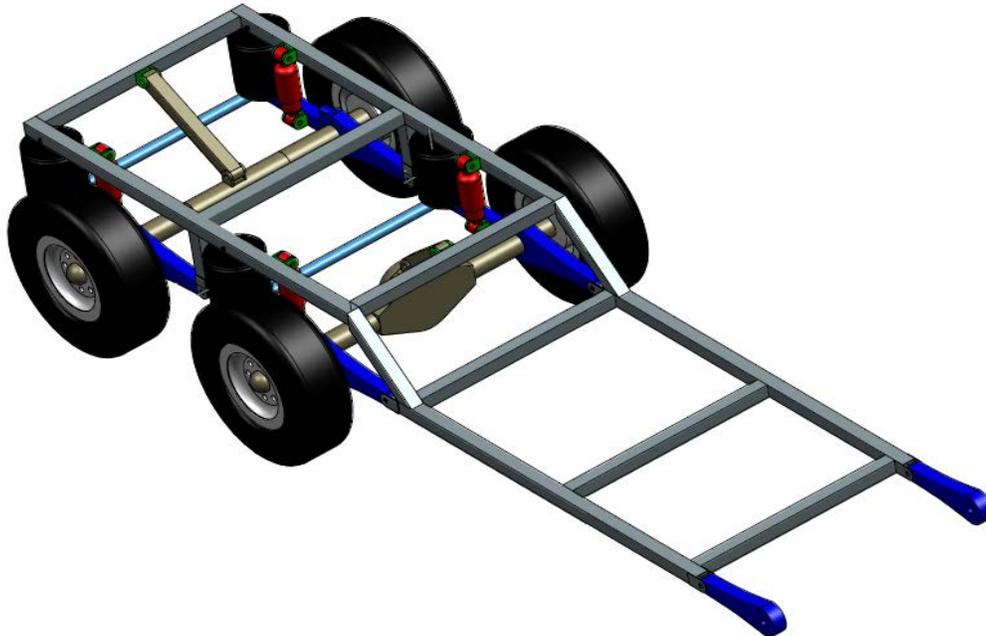


Figura 3.3.6 Tercera propuesta de suspensión para midibús.

El problema de la tercera propuesta es la distancia entre ejes traseros que afecta el giro del vehículo, además los soportes que evitan el giro de los ejes también impiden el funcionamiento de los demás componentes de la suspensión.

Por los detalles de la propuesta tres de la suspensión, surge la propuesta de suspensión número 4 que reduce la distancia entre ejes traseros mejorando el radio de giro, las barras que evitan el giro de los ejes traseros se colocan en otra posición para permitir el funcionamiento de los componentes de la suspensión. La Figura 3.3.7 es la imagen correspondiente a la cuarta propuesta de suspensión para midibús.

El problema que presenta la cuarta propuesta es que las barras que evitan el giro de los ejes traseros, de nueva cuenta evitan el actuar de los demás componentes de la suspensión, además cuando se propone bajar la estructura para subir o bajar usuarios, la flecha cardan se dobla demasiado con lo cual se dañan las crucetas y la flecha cardan, por lo que la cuarta propuesta también es descartada.

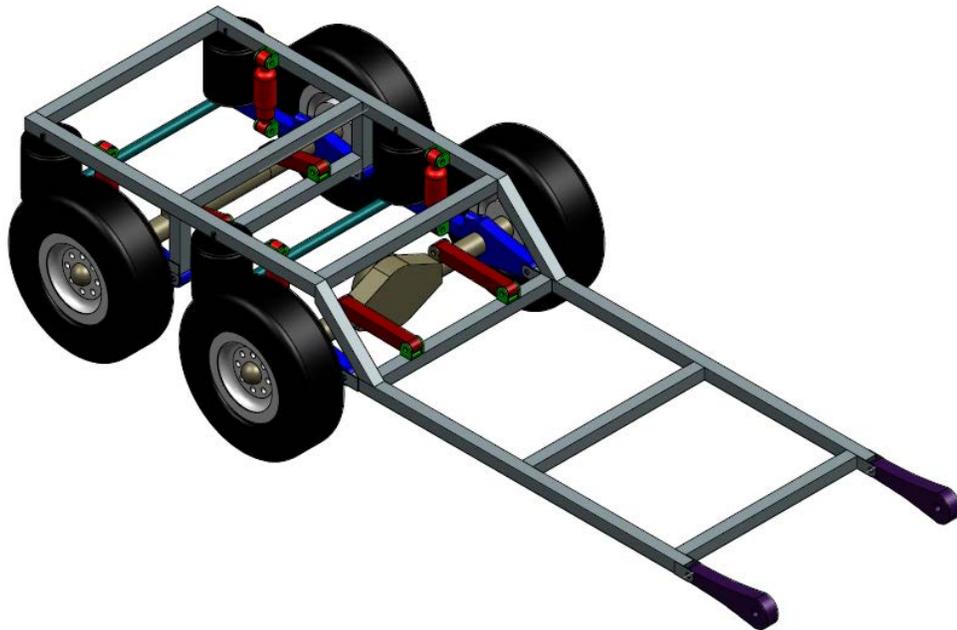


Figura 3.3.7 Cuarta propuesta de suspensión para midibús.

Después se propone una quinta suspensión que no trascendió por el hecho de que presentaba posición singular o de bloqueo al moverse por la cantidad de eslabones que tenía, además de que al momento de frenar y acelerar generaría que los ejes se desplazaran y con ello bajo la definición básica del

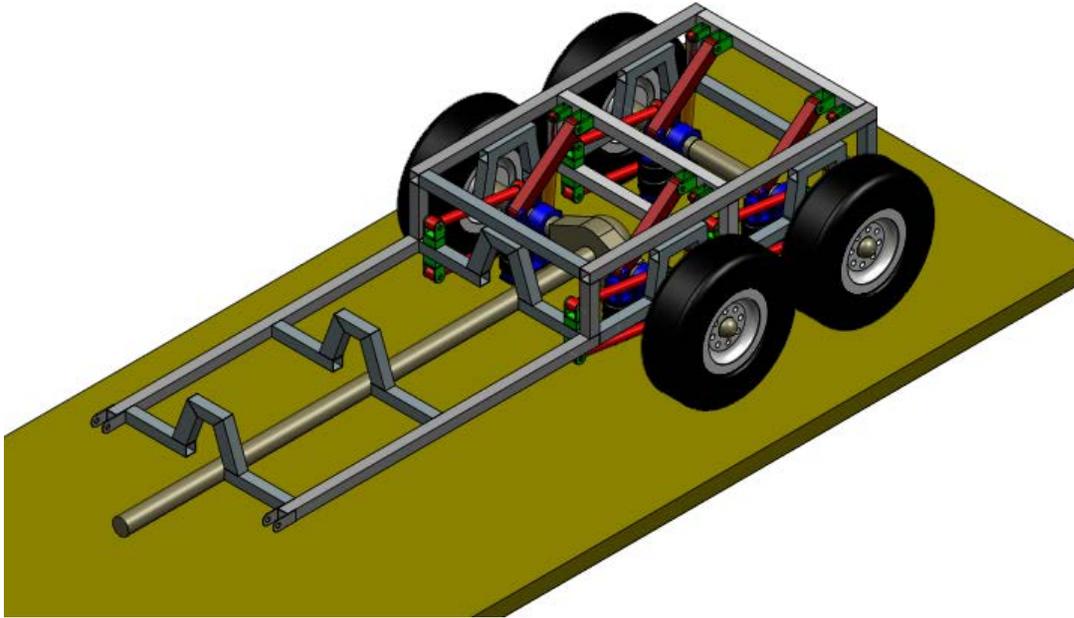


Figura 3.3.9 Sexto modelo de propuesta para suspensión de midibús.

Con este modelo se puede obtener una altura mínima de 30 cm en la Figura 3.3.10 y una máxima de 50 cm en la Figura 3.3.11.

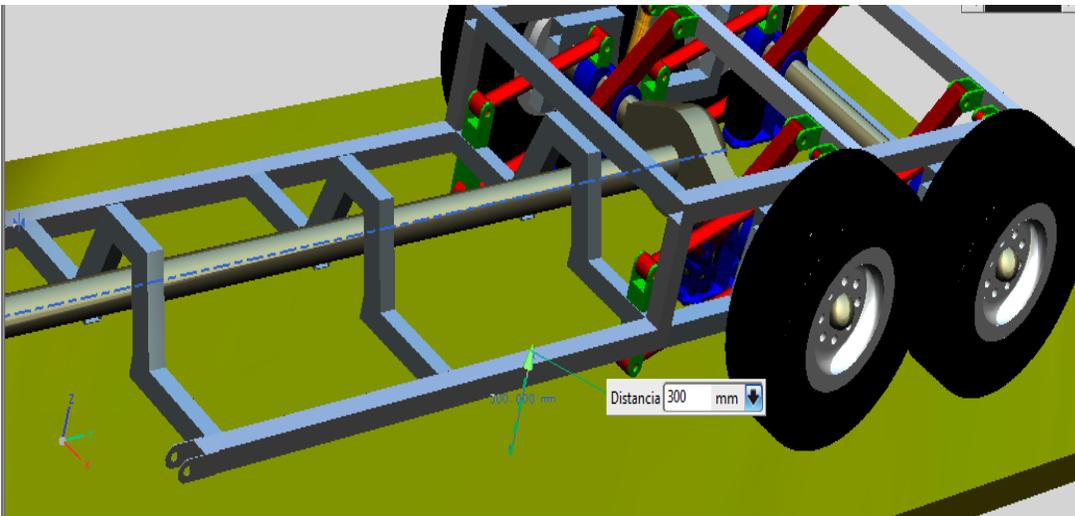


Figura 3.3.10 Vista de altura mínima de estructura de midibús.

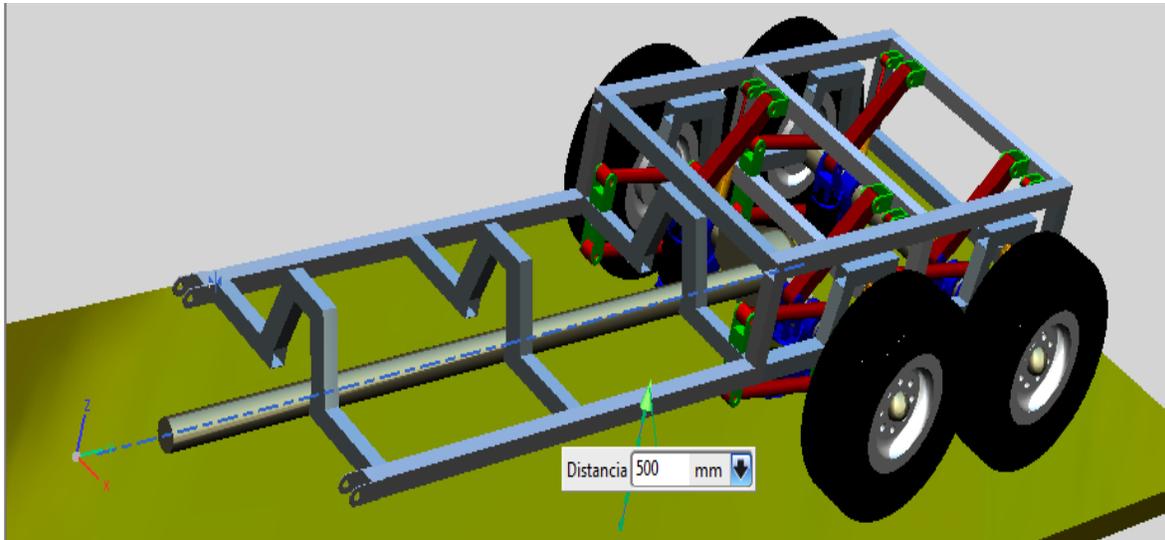


Figura 3.3.11 Vista de altura máxima de estructura de midibús.

La desventaja de esta propuesta de suspensión son los brazos colocados en la parte superior de la bolsa de aire y la parte superior de la estructura de la suspensión por el hecho de que solo desplaza los brazos y no a la estructura de la suspensión y por ello menos cambiaría la altura del midibús aunque en la animación de movimiento sea posible. Por tal motivo se realiza una última modificación.

La séptima propuesta cambia en la forma de sujetar el resorte de aire de la parte superior y con ello garantizar que la estructura completa varíe la altura del midibús de acuerdo con el inflado de la bolsa de aire. La Figura 3.3.12 permite visualizar ésta última configuración de suspensión para el midibús. Además, esta séptima propuesta muestra cómo se acopla de mejor manera la estructura de la suspensión con el chasis para el midibús.

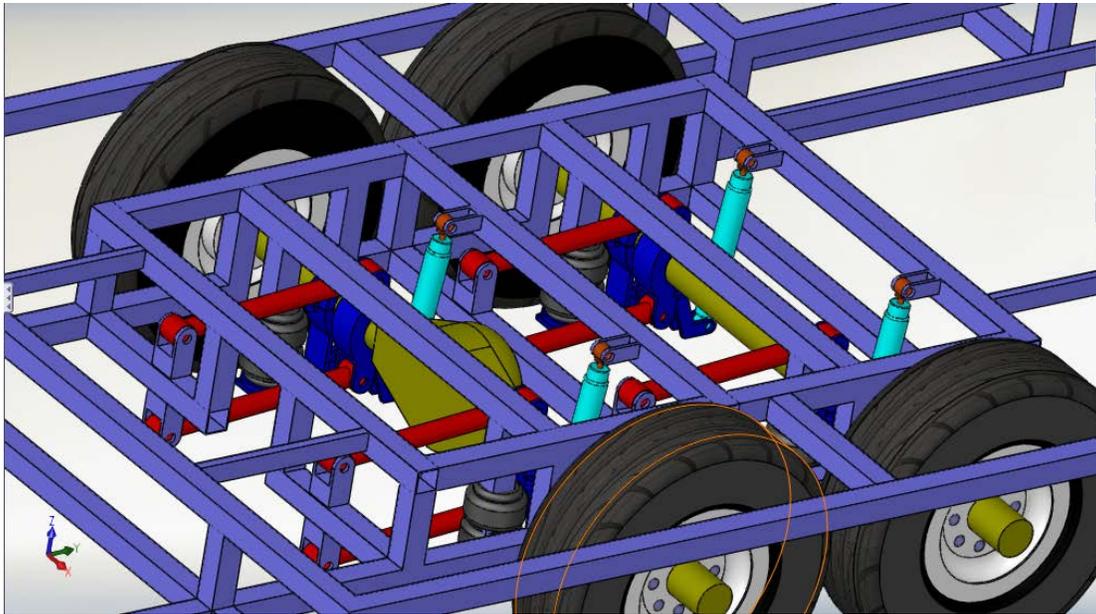


Figura 3.3.12 Séptima propuesta de suspensión para midibús.

3.4 Selección de los componentes

Para la selección de componentes se realizó una búsqueda entre los proveedores más cercanos en el área, de los cuales se tienen dos: Firestone y Continental, ya que son las 2 marcas que en sus páginas de internet directamente permiten seleccionar características de la camioneta F-350.

Dentro de las búsquedas generadas se tiene la de la marca Firestone, la cual solo dejó ubicar por modelo y marca y no generó un buen resultado. Para la página de Continental se tiene la siguiente forma de búsqueda para la bolsa más adecuada, de acuerdo a la carga promedio de 4 toneladas, se obtuvo lo mostrado en la Figura 3.4.1. El resultado de compatibilidad con 91% se presenta en la Tabla 3.4.1.

Continental
CONTITECH

Air Spring Systems

[Home](#)
[Productos](#)
[Cálculos](#)
[Recodificación](#)
[Aplicaciones](#)
[Contacto](#)
[Nuestra empresa](#)
Español

Cálculo de los cilindros neumáticos

+ Cálculos + Cilindro neumático

Entrada

m (kg): 4000 Masa a levantar
 S_{mín} (mm): 190 Recorrido deseado
 n: 4 Número de cilindros neumáticos
 H_{mín} (mm): 300 Altura mín. de montaje/altura de funcionamiento
 D (mm): 500 Diámetro de montaje permitido
 p (bar): 6 Presión neumática



(Pulse sobre la imagen para iniciar la animación.)

Cilindros neumáticos adecuados

Tipos	Tasa de utilización
FD 200-25 CI	91%
FT 210-32 DS	65%
FD 330-22 CI	58%
FD 330-30 CI	40%
FT 330-29 CI	39%
FT 412-32 DS	38%
FD 530-22 CI	36%

Cilindros neumáticos seleccionados: FD 200-25 CI

Capacidad de carga necesaria:	9,81 ≤ 10,76 kN
Recorrido deseado:	190,00 ≤ 223,00 mm
N° de cilindros neumáticos:	4
Altura de funcionamiento:	300 ≥ 77 mm
Diámetro mínimo de montaje:	500 ≥ 275 mm

Figura 3.4.1 Calculador de Continental para búsqueda de compatibilidad (www.contitech.com.mx, 2013).

Conti Tech Luftfedersysteme GmbH

Edition: 2012-03-01

FD 76-14 DS CR

CONTI[®] RESORTE DE AIRE DE DOBLE CURVA

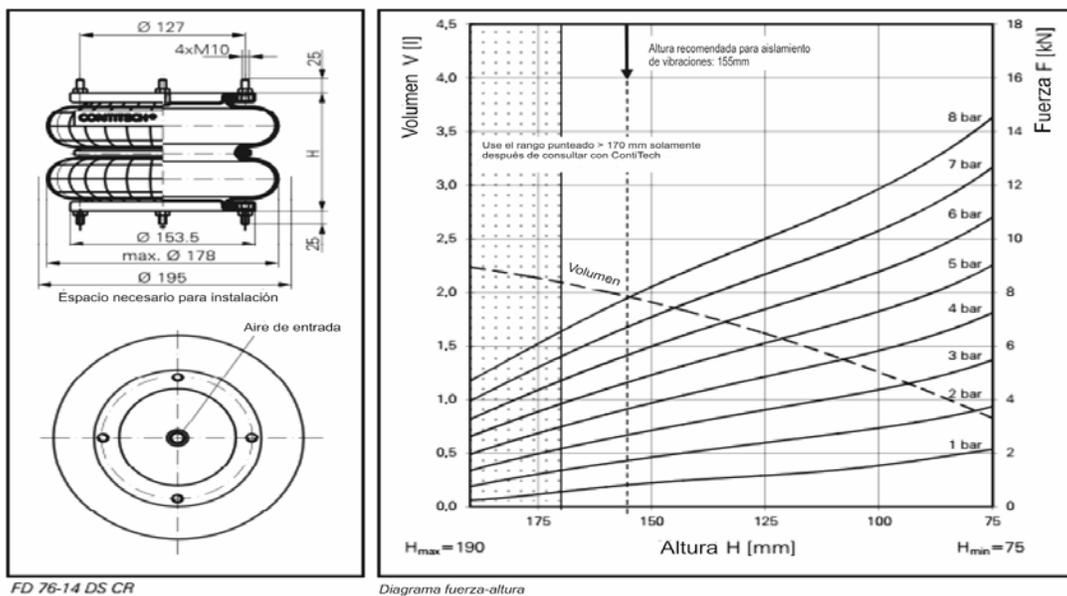


Tabla 3.4.1 Diagrama de curvas de altura, volumen, fuerza e imagen de resorte de aire propuesto (www.contitech.com.mx, 2013).

Datos de orden de compra		Datos técnicos							
Tipo	No. de orden	Presión mínima	0 bar						
Solo fuelles de hule CR	69837	Fuerza de retorno para altura mínima	≤ 180 N						
Fuelles de hule CR, con placas removibles y entrada de aire G1/2	70215	Peso total con placas removibles	2.6 kg						
Tipos adicionales bajo pedido		Aislamiento de vibración- valores de características dinámicas							
		Altura de diseño: recomendada 150 mm, mínima 145mm							
Presión (p)	[bar]	3	4	5	6	7	8	Vol V[l]	
Fuerza (carga)	[KN]	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.8	2.0	
Rigidez del resorte	[N/cm]	650	830	1015	1185	1360	1530		
Frecuencia natural	[Hz]	2.5	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2		
		Aplicaciones neumáticas- valores de características estáticas							
		Fuerza F [kN]							
Presión (p)	[bar]	3	4	5	6	7	8	Vol.[l]	
Altura H [mm]	170	2.2	3.0	3.8	4.7	5.6	6.5	2.1	
	150	2.8	3.9	4.9	6.0	7.1	8.2	1.9	
	130	3.5	4.7	5.9	7.1	8.4	9.7	1.7	
	110	4.1	5.4	6.8	8.2	9.6	11.1	1.4	
	90	4.7	6.3	7.9	9.5	11.1	12.8	1.1	
 Instrucciones de servicio M10 = 25 Nm G 1/2 = 25 Nm		Procedimiento de medidas: Cuarto de temperatura/Fuerza-Altura-datos cuasiestaticos/ Datos dinámicos a 1 Hz							

Further information available by fax +49 (0)511-938-5162 or under <http://www.contitech.de/airactuatoor>



Tabla 3.4.2 Valores técnicos del resorte neumático para el midibús (www.contitech.com.mx, 2013).

Por lo tanto, Continental es la marca más conveniente para el proyecto del midibús de acuerdo a los datos con los que se cuenta. Además de que el proveedor local asegura conseguir la bolsa en marca Continental o su equivalente en GoodYear u otras marcas de la misma calidad.

3.5 Consideraciones para la fabricación de la estructura

Los diversos elementos que conforman el prototipo de suspensión neumática final, descrito en la sección 3.3 y mostrado así mismo en la Figura 3.5.1, son los que se enlistan a continuación:

- 1.- Base para las bolsas de aire.
- 2.- Soportes inferiores y superiores para amortiguadores.
- 3.- Amortiguadores.
- 4.- Válvula reguladora de altura.
- 5.- Bolsa de aire.
- 6.- Soporte superior para la bolsa.
- 7.- Soporte del chasis para colocar componentes.
- 8.- Soportes para diferencial.
- 9.- Válvula de llenado y vaciado de bolsas.
- 10.- Deposito de aire a compresión (compresor).
- 11.- Barras estabilizadoras en los ejes traseros.

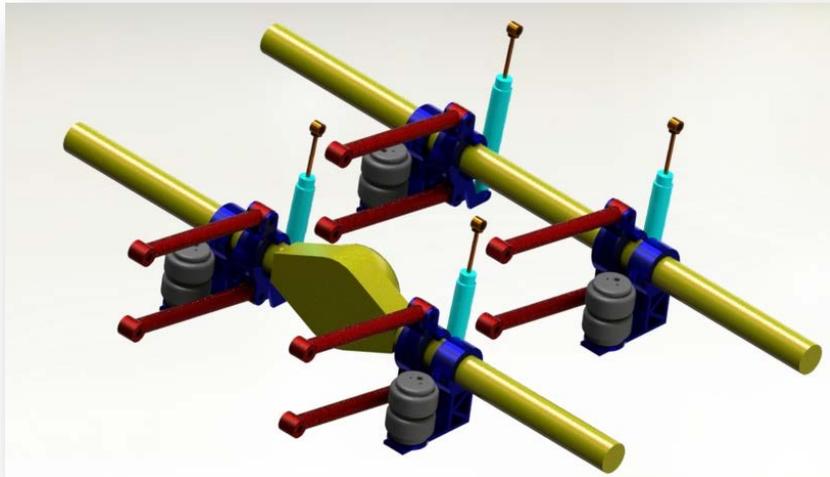


Figura 3.5.1 Componentes de la suspensión propuesta para el midibús de cama baja.

3.6 Control de la suspensión

Dentro del control del llenado y vaciado del resorte de aire, cabe destacar que se lleva a cabo mediante válvulas de regulación de aire en la bolsa, para lograr absorber de la mejor manera las irregularidades del camino y diferentes relieves sin que el vehículo pierda la tracción y agarre sobre la superficie en la que se desplace. La válvula utilizada durante las pruebas se trata de una válvula Haldex 90054007 que corresponde a la configuración general mostrada en la Figura 3.6.1:

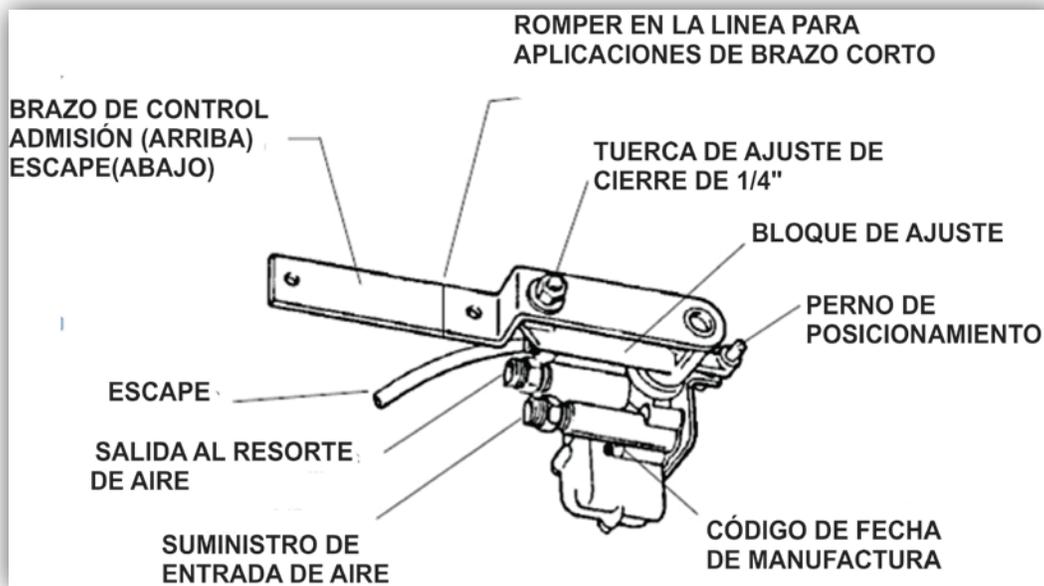


Figura 3.6.1 Configuración general para válvulas de control Haldex 90054007, 90554334, 90054007P20 y 90054007P100 (Manual Haldex,2009).

Dentro del manual de Haldex se ofrecen las siguientes características para control del aire en los resortes de la suspensión neumática:

- 1.- Genera retardo de tiempo de respuesta controlado, con lo cual, tal tecnología mantiene la posición del chasis y conserva el aire para aumentar la vida del compresor.
- 2.- Fundición de zinc del cuerpo robusto, mecanizado de precisión de acero y componentes de plástico resistente para garantizar el funcionamiento en condiciones extremas.
- 3.- Disponible con 1/4 ", 3/8" o accesorios de filtros con válvulas de purga integral.
- 4.- Montaje izquierdo o derecho flexible para una fácil instalación.
- 5.- El rango proporciona un excelente control de la altura en el manejo de la suspensión.

6.- La válvula de descarga integrada opcional ofrece la posibilidad de purgar de forma automática o manual el aire de la suspensión.

7.- Se ofrece en un precio accesible.

Además del uso de una válvula de llenado y vaciado de las bolsas de aire de manera simultánea, pues es parte de la idea para lograr el fácil acceso y descenso de los usuarios (*Manual Haldex, 2009*).

Para el proyecto del midibús se tiene contemplado utilizar válvulas de control de altura de la misma marca de las bolsas para no tener problemas de compatibilidad, aun cuando ésta debe existir entre modelos y marcas.

4. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Dentro de los resultados obtenidos en las pruebas a la bolsa de aire, para observar el inflado, desinflado y función de la válvula de control del resorte de aire, se tiene lo siguiente:

Una altura máxima de 67.3 cm a presión de llenado de 100 psi y también a 50 psi.

El tiempo aproximado de llenado a 50 psi es aproximadamente entre 7 y 8.5 segundos, mientras que con 100 psi fue entre 4 a 5 segundos, esto con un ángulo de giro de la palanca de la válvula de 35° aproximadamente.

El tiempo de vaciado con el giro de la palanca de la válvula en dirección contraria de 35°, es aproximado a 1 minuto, aplicando con un gato hidráulico de 30 toneladas de carga para vaciar el resorte. Ya que el desplazamiento del gato es muy poco, por eso tarda ese tiempo, lo cual, deja la bolsa de aire a una altura mínima de 26 cm.



Figura 4.0.1 Banco de pruebas para inflado y desinflado de resorte neumático de prueba.

En cuanto a la selección de la bolsa se tiene que la marca que brinda mayor información es Continental y permite calcular con un porcentaje del 91% la bolsa más adecuada para los fines del proyecto del midibús, y de allí tener en cuenta los componentes de mejor compatibilidad para la bolsa de tal marca.

Entrada

m (kg): 4000 Masa a levantar

S_{mín} (mm): 190 Recorrido deseado

n: 4 Número de cilindros neumáticos

H_{mín} (mm): 300 Altura mín. de montaje/altura de funcionamiento

D (mm): 500 Diámetro de montaje permitido

p (bar): 6 Presión neumática

Cilindros neumáticos adecuados

Tipos	Tasa de utilización
FD 200-25 CI	91%
FT 210-32 DS	65%
FD 330-22 CI	58%
FD 330-30 CI	40%
FT 330-29 CI	39%
FT 412-32 DS	38%
FD 530-22 CI	36%

Cilindros neumáticos seleccionados: FD 200-25 CI

Capacidad de carga necesaria: 9,81 ≤ 10,76 kN

Recorrido deseado: 190,00 ≤ 223,00 mm

N° de cilindros neumáticos: 4

Altura de funcionamiento: 300 ≥ 77 mm

Diámetro mínimo de montaje: 500 ≥ 275 mm

Figura 4.0.2 Calculador de resorte neumático de la marca Continental.

Se tiene en cuenta que las bolsas que se van a utilizar en la suspensión son propuestas por el calculador de resorte neumático de la marca Continental o su equivalente en alguna otra marca de acuerdo a la Tabla 3.4.1 y Tabla 3.4.2.

Habiendo considerado las especificaciones de las Tablas 3.4.1 y 3.4.2, en la Figura 4.0.3 se presenta la forma de conexiones de los componentes como resortes neumáticos, válvulas de control de altura y compresor para la suspensión del midibús.

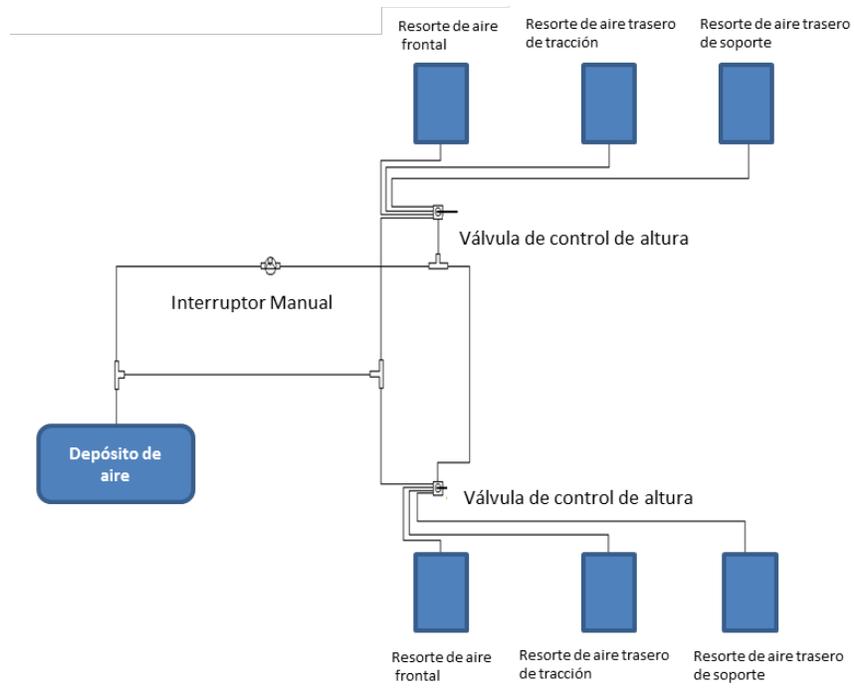


Figura 4.0.3 Conexiones de depósito de aire, válvulas de control de inflado y desinflado y resortes de aire.

También se muestra en la Figura 4.0.4 una parte representativa de la última propuesta de suspensión para el midibús, para así tener una mejor perspectiva real de cómo estaría conformada.



Figura 4.0.4 Vista de última propuesta de suspensión para midibús.

4.1 Análisis de cuarto de carro para comparación entre resorte metálico y resorte neumático

En esta parte del capítulo, se muestra el análisis de cuarto de carro de dos grados de libertad, comparando las gráficas resultantes del sistema de suspensión de resorte neumático y sistema de suspensión de resortes metálicos. Además, en el sistema de suspensión de resorte neumático se usa el coeficiente mínimo y el coeficiente máximo proporcionado por la Tabla 4.1.1.

Aplicaciones neumáticas- valores de características estáticas

Fuerza F [kN]		3	4	5	6	7	8	Vol.[l]
Presión (p)	[bar]							
AlturaH [mm]	170	2.2	3.0	3.8	4.7	5.6	6.5	2.1
	150	2.8	3.9	4.9	6.0	7.1	8.2	1.9
	130	3.5	4.7	5.9	7.1	8.4	9.7	1.7
	110	4.1	5.4	6.8	8.2	9.6	11.1	1.4
	90	4.7	6.3	7.9	9.5	11.1	12.8	1.1

Tabla 4.1.1 Aplicaciones neumáticas para obtener valores de coeficientes de resorte neumático.

Para el coeficiente del resorte metálico se utiliza como referencia los datos de la tesis "*Modelling Whole-Life Pavement Performance*" (Collop, 1997), en el apartado de modelado de cuarto de vehículo, los datos a utilizar se presentan en la Tabla 4.1.2.

Componente de suspensión	Aire	Acero
Masa soportada(ms)	4500kg	4500kg
Constante rigidez del resorte(ks)	.4MN/m	1MN/m
Coeficiente de amortiguamiento(cs)	20kN*s/m	20kN*s/m
Masa de eje de llantas (mt)	500kg	500kg
Constante rigidez de llanta(kt)	2MN/m	2MN/m
Coeficiente amortiguamiento de llanta(ct)	--	--

Tabla 4.1.2 Tabla de comparación entre resorte neumático y resorte

Pero como el midibús está pensado para 4000 kg, se sustituye en lugar del mostrado en la Tabla 4.1.2 y se divide entre 4, porque se trata de un análisis de cuarto de carro, quedando entonces la masa soportada de 1000 kg. La rigidez del resorte neumático se calcula con los datos de la Tabla 4.1.1, y los demás valores como coeficiente de amortiguamiento, masa del eje de las llantas y constante de rigidez de la llanta, se toman de la Tabla 4.1.2.

La representación del diagrama del sistema masa, resorte y amortiguador se presenta en la Figura 4.1.1 (Ogata, 2005).

De la misma forma se presenta la función de transferencia (Ecuación 4a) que se utiliza para observar las gráficas que presentan los sistemas excitados por una función impulso, todo esto analizado mediante Simulink, herramienta de Matlab.

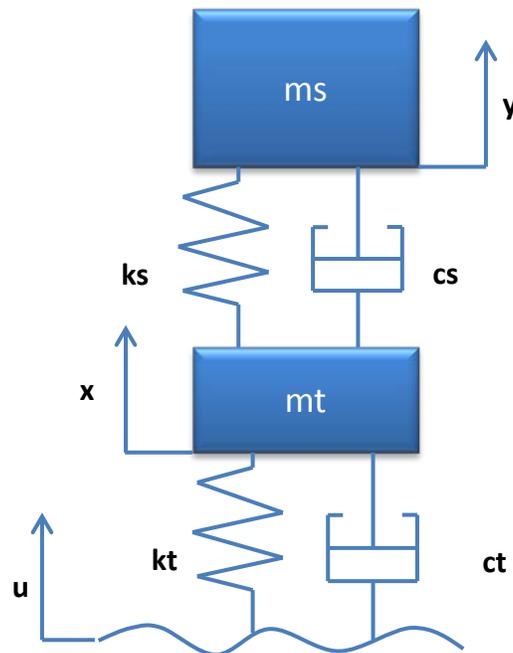


Figura 4.1.1 Sistema de suspensión de dos grados de libertad.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{kt((cs * s) + ks)}{(mt * ms)s^4 + (mt + ms)cs * s^3 + [kt * ms + (ms + mt)ks]s^2 + (kt * cs) * s + (kt * ks)} \quad 4(a)$$

El coeficiente de rigidez del resorte neumático se calcula utilizando la fórmula de rigidez de resorte que a continuación se presenta:

$$Ks_{min} = \frac{4.7 \text{ KN}}{0.090\text{m} - .075\text{m}}$$

$$Ks_{min} = 313.33 \text{ KN/m}$$

$$Ks_{max} = \frac{6.5 \text{ KN}}{0.170\text{m} - .075\text{m}}$$

$$Ks_{max} = 68.42 \text{ KN/m}$$

Entonces, los datos a utilizar para sustituir en la Ecuación 4a para cada tipo de resorte y demás componentes se presenta en la tabla 4.1.3.

Componente de suspensión	Neumático	Metálico
Masa soportada(ms)	1000kg	1000kg
Constante rigidez del resorte(ks)	313.33KN/m y 68.42 KN/m	1MN/m
Coeficiente de amortiguamiento(cs)	20kN*s/m	20kN*s/m
Masa de eje de llantas (mt)	500kg	500kg
Constante rigidez de llanta(kt)	2MN/m	2MN/m
Coeficiente de amortiguamiento de llanta(ct)	--	--

Tabla 4.1.3 Datos utilizados para función de transferencia en Simulink, Matlab.

Ahora, se colocan al sustituir los valores de la Tabla 4.1.4 en la Ecuación 4a, la función de transferencia y la función de excitación, para realizar la simulación en Simulink como se muestra en la Figura 4.1.2, pero con el coeficiente de rigidez del resorte neumático mínimo de 313.33 KN/m.

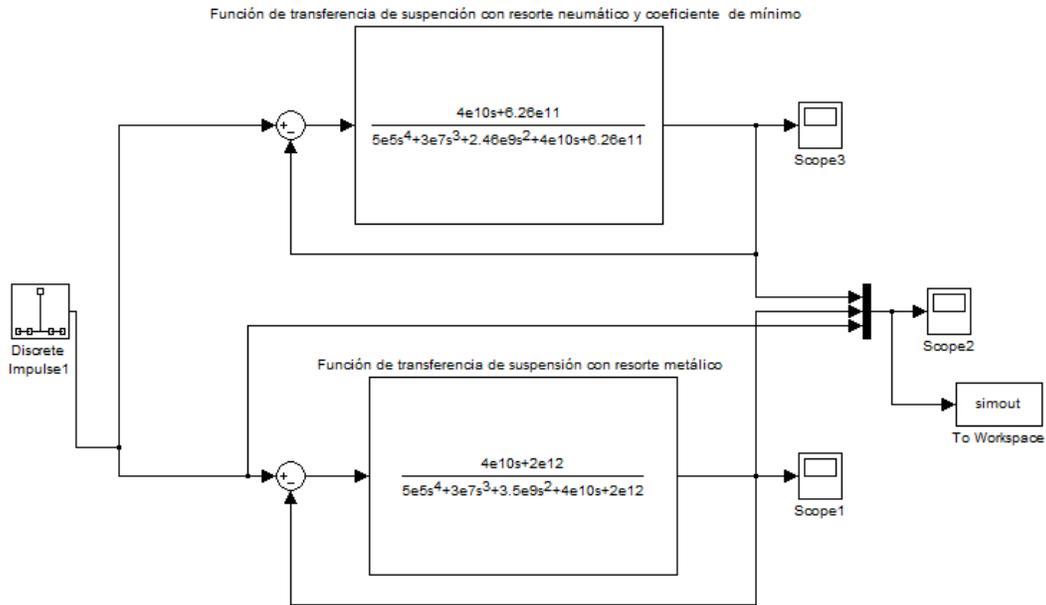


Figura 4.1.2 Diagrama de Simulink para representar mediante función de transferencia de cada tipo de resorte, utilizando el coeficiente mínimo en el resorte neumático.

Ahora, para pasar los datos al lugar de trabajo de Matlab y dar mejor formato a las gráficas se utiliza el código de la Figura 4.1.3.

```

tout=simout;
label('Amplitud (metros)');
label('Tiempo (segundos)');

legend('Suspensión con resorte de aire','Suspensión con resorte metalico','Funcion de excitación')

grid on

```

Figura 4.1.3 Código de Matlab para pasar datos al lugar de trabajo para mejorar la visibilidad de las gráficas.

De lo cual se obtiene gráficas mostradas en la Figura 4.1.4.

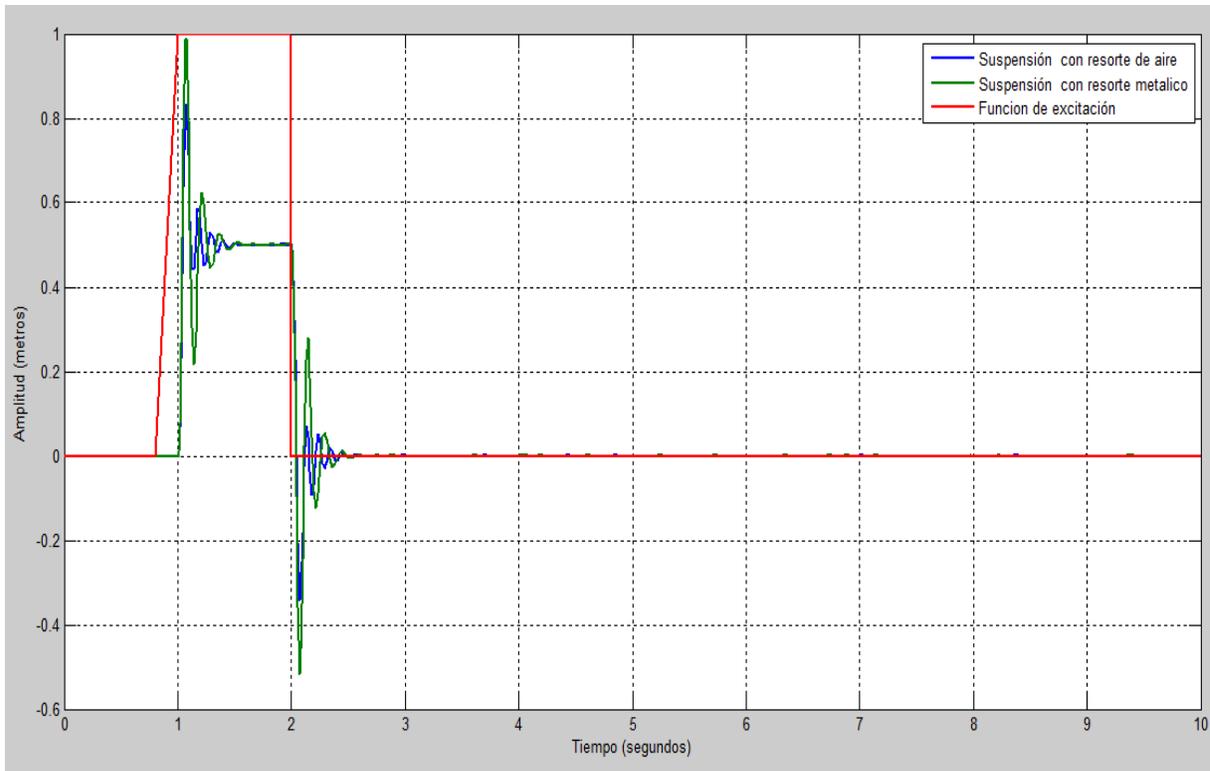


Figura 4.1.4 Gráficas de resorte neumático y resorte metálico, usando el coeficiente de rigidez para mínimo para el resorte de aire.

Del análisis de la Figura 4.1.4, se observa la forma en que las suspensiones reducen la amplitud de la función de entrada que representa el camino; se puede ver que presentan las mismas oscilaciones y que logran estabilizarse casi al mismo tiempo, aunque para el propósito de hacer que el midibús ascienda y descienda, la suspensión neumática resulta más fácil que cumpla con tal función.

Ahora, se utiliza el coeficiente de rigidez del resorte neumático máximo de 68.48 KN/m, por lo tanto en la Figura 4.1.5 se logra observar que algunos valores de la función de transferencia cambian.

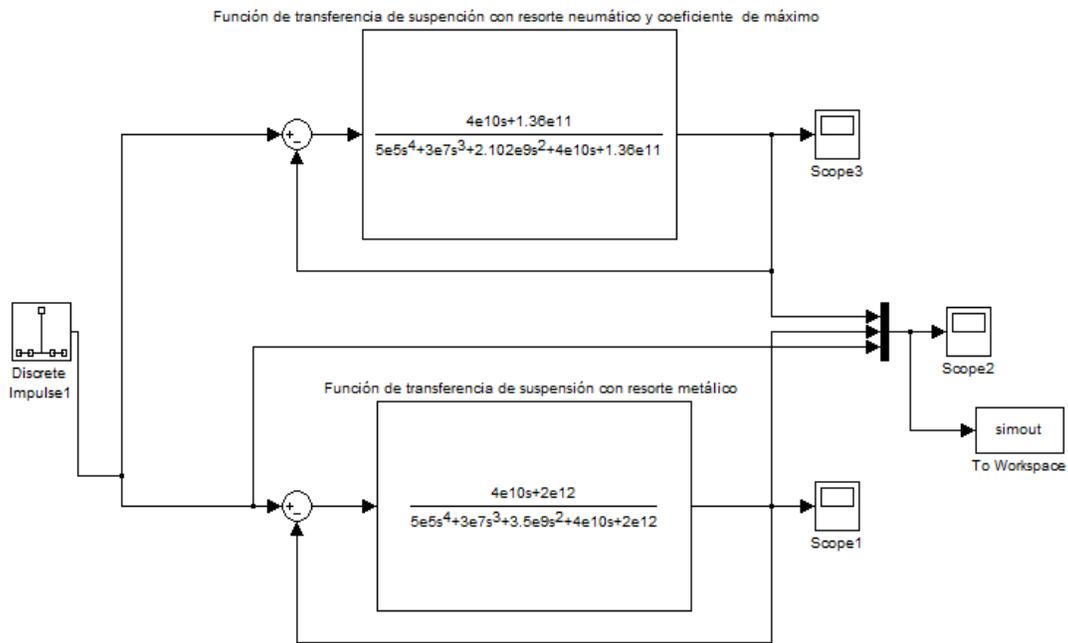


Figura 4.1.5 Diagrama de Simulink para representar mediante función de transferencia de cada tipo de resorte, utilizando el coeficiente máximo en el resorte neumático.

Para pasar los datos al lugar de trabajo de Matlab y dar mejor formato a las gráficas se utiliza el código de la Figura 4.1.3. de nuevo y se obtienen las gráficas de la Figura 4.1.6

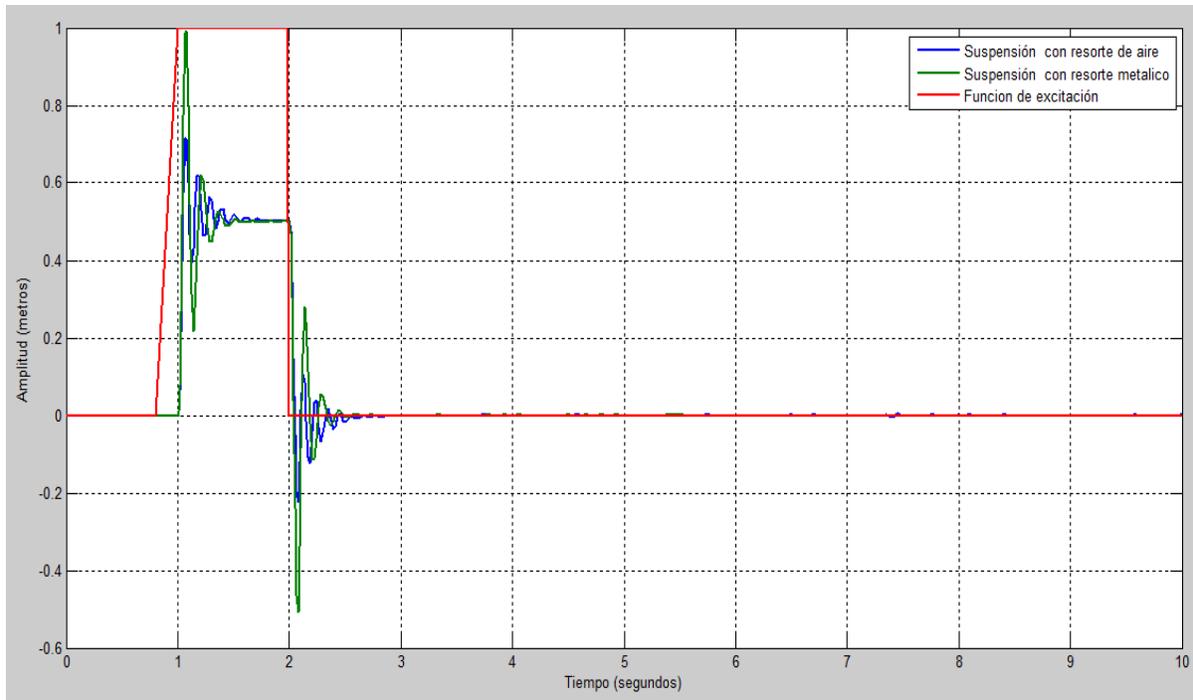


Figura 4.1.6 Gráficas de resorte neumático y resorte metálico con coeficiente de resorte neumático máximo.

Se observa que la forma de reaccionar es muy similar en cuestión de oscilaciones y amplitud, aunque en esta ocasión, en la función de transferencia del resorte neumático se reduce todavía más la amplitud de la gráfica. Con lo cual, se puede observar que además de ser fácil para usar al momento de subir y bajar la altura del midibús, logra reducir el efecto generado del camino.

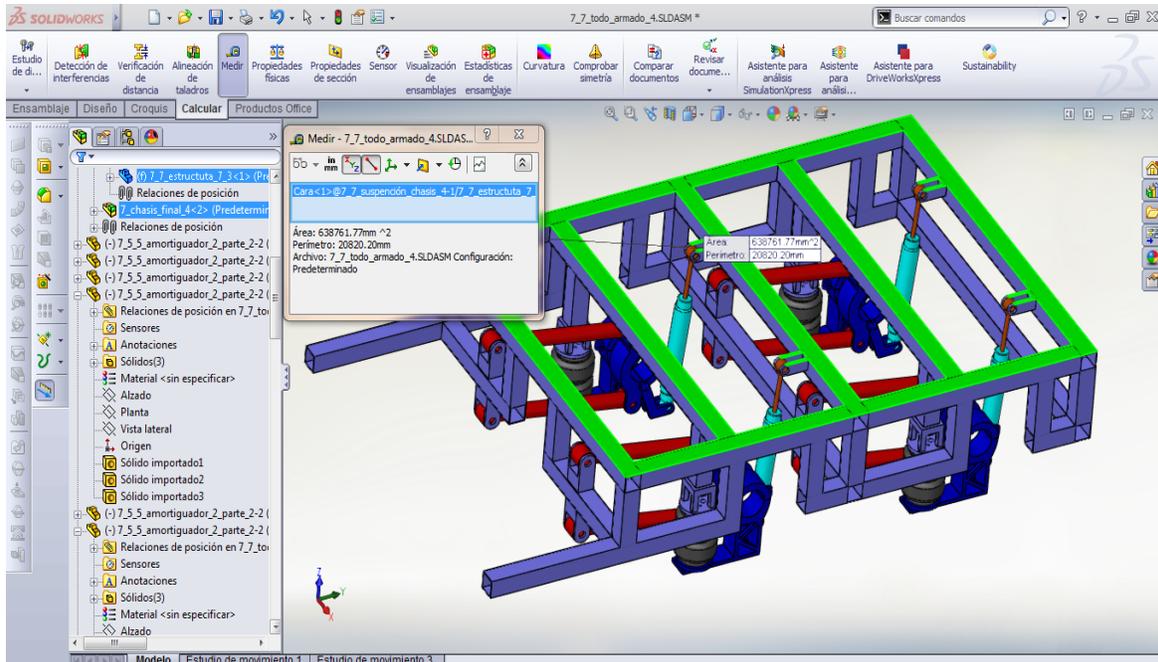
4.2 Análisis por elemento finito de estructura de suspensión para midibús

Otra parte del análisis, entra al momento de proponer la estructura de la suspensión, en la cual se analiza por medio del programa de ANSYS 13 en la parte de Workbench para observar las deformaciones que se presentan al aplicar las cargas que lleva el midibús, las cuales, aproximadamente en total son de 80.5 KPa de presión sobre la superficie de la estructura de la suspensión. A continuación en la Tabla 4.2.1 se presentan los pesos que generan la presión de 80533 KPa. El total de peso, se obtiene al multiplicar el valor de la gravedad de 9.81 m/s^2 por el total de la masa.

Cantidad y descripción del peso	Masa en kilogramos
24 pasajeros	2040
1 pasajero en silla de rueda	85
1 chofer	85
3 tanques de combustible	96
Total de masa	2306
Total de peso	22621.86 N

Tabla 4.2.1 Masas que actúan sobre la superficie del midibús.

Para el cálculo del área donde se ejerce el total del peso, se utiliza la herramienta de “medir” en SolidWorks 2013.



4.2.1 Uso de la herramienta “medir” para el cálculo del área de la superficie de la estructura de la suspensión del midibús.

Ya teniendo los datos del peso y la superficie simplemente se calcula la presión.

$$P = \frac{22621.86 \text{ N}}{0.70226 \text{ m}^2}$$

$$P = 32212.94 \text{ Pa}$$

Pero de acuerdo a la flexión que debe presentar el vehículo, de acuerdo a la NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, debe someterse la estructura a un análisis de deformación en el cual al estar cargado con 2.5 veces su carga útil no debe sobrepasar una deformación elástica de 0.015 m. Así que, la presión que se aplicará será 2.5 veces la calculada previamente, por lo tanto, la presión es de 80532.35 Pa, sin embargo, para fines más prácticos la presión será de 80533 Pa.

Ahora teniendo los datos necesarios, se continúa con el análisis en ANSYS Workbench.

Primero, se procede a cargar la estructura junto con los componentes necesarios para analizar los esfuerzos y deformaciones al ser sometido a 20 Kpa de presión.

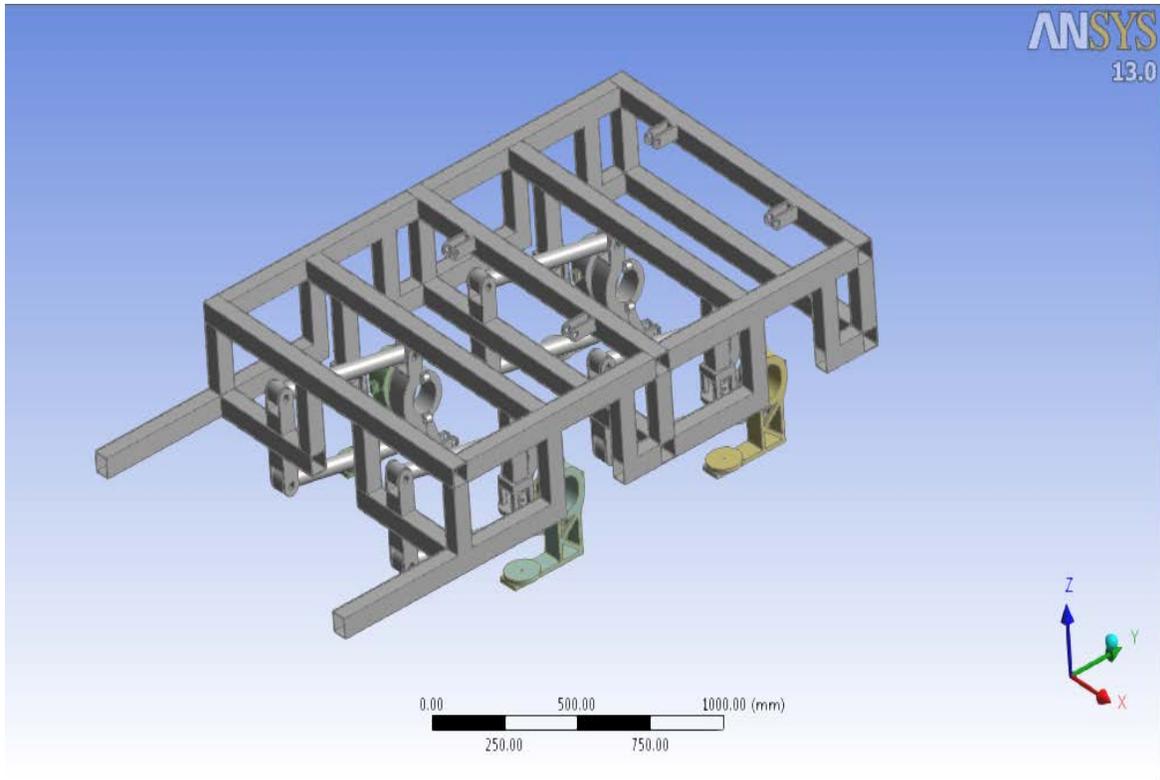


Figura 4.2.2 Estructura y componentes de la estructura necesarios para el análisis en ANSYS Workbench.

Posteriormente se procedió a realizar el mallado de la estructura para continuar con el análisis, lo cual se muestra en la Figura 4.2.3.

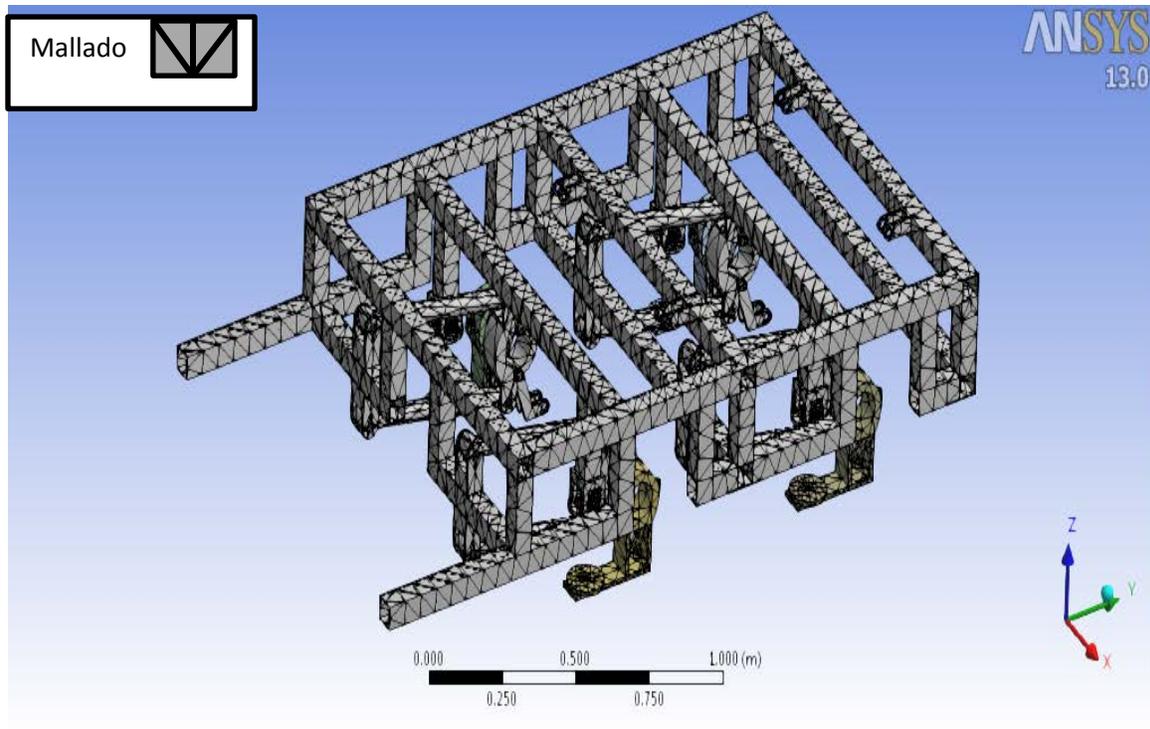


Figura 4.2.3 Estructura y componentes necesarios mallados para el análisis.

Después de aplicar el mallado, se definen los soportes fijos de la estructura, que son las superficies de donde se sujeta la estructura y componentes. Esto se muestra en las Figuras 4.2.4 y 4.2.5.

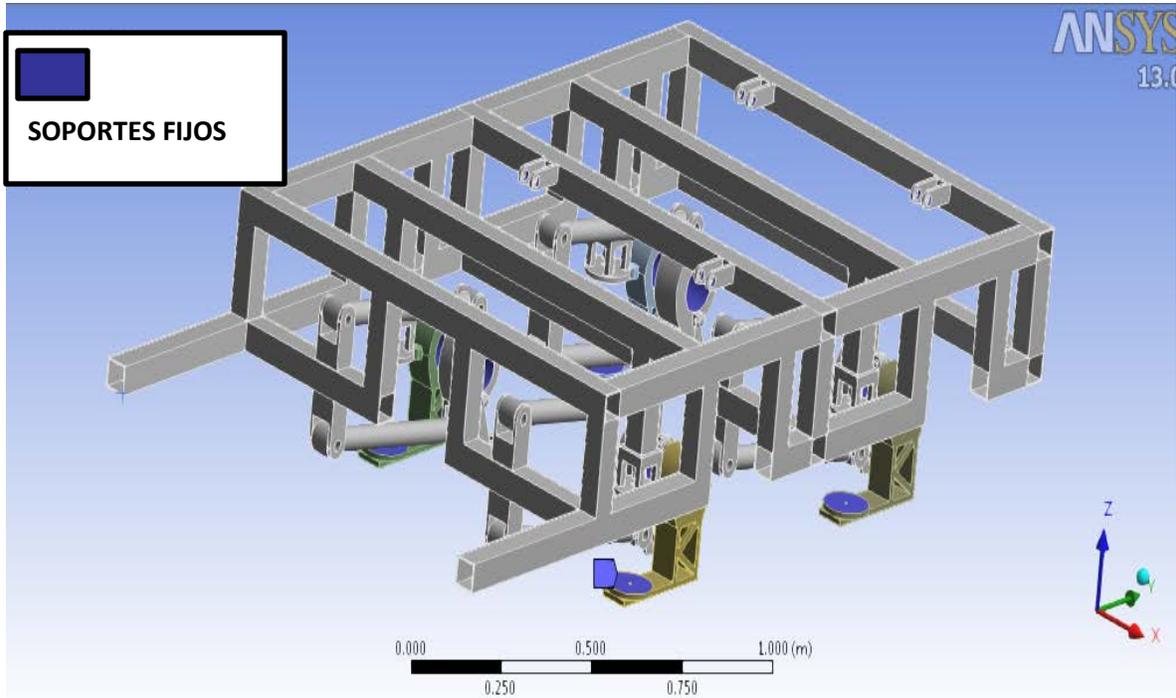


Figura 4.2.4 Soportes fijos de la estructura y componentes.

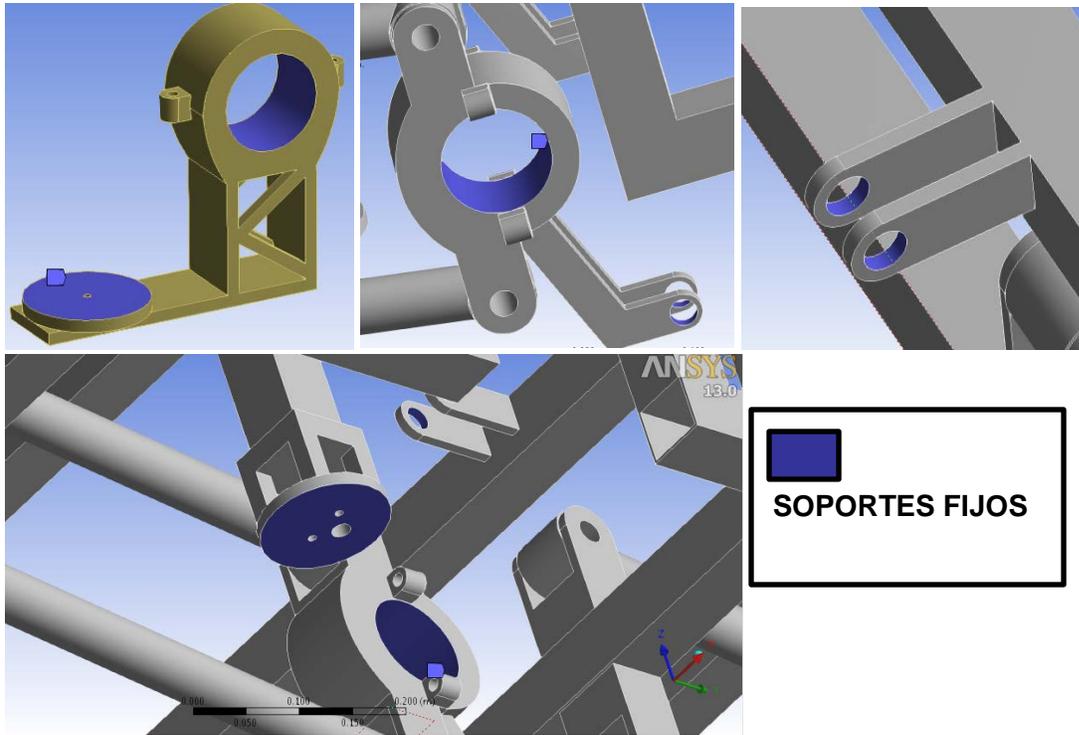


Figura 4.2.5 Detalle de soportes fijos.

El siguiente paso del análisis, (Figura 4.2.6) es aplicar sobre la superficie superior de la estructura de la suspensión del midibús una presión de 80533 Pa para pedir posteriormente los resultados de deformación y esfuerzos calculados.

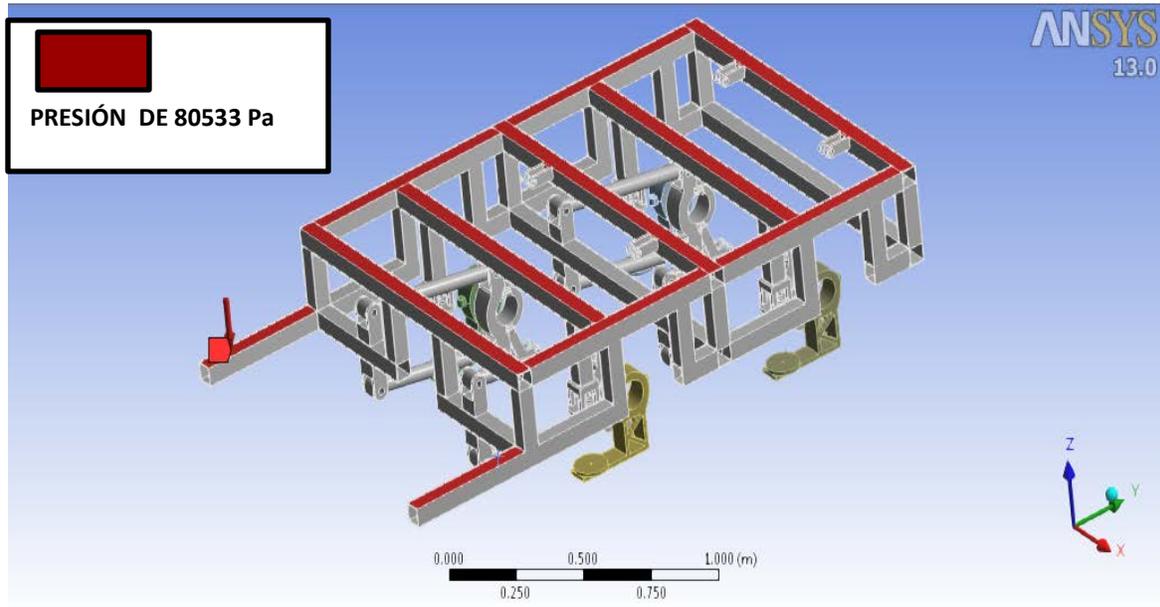


Figura 4.2.6 Presión aplicada sobre estructura de suspensión de midibús.

Finalmente se obtienen los resultados de la deformación total y el esfuerzo que se genera en la estructura de la suspensión del midibús. Esto último se muestra en las Figuras 4.2.7 y 4.2.8.

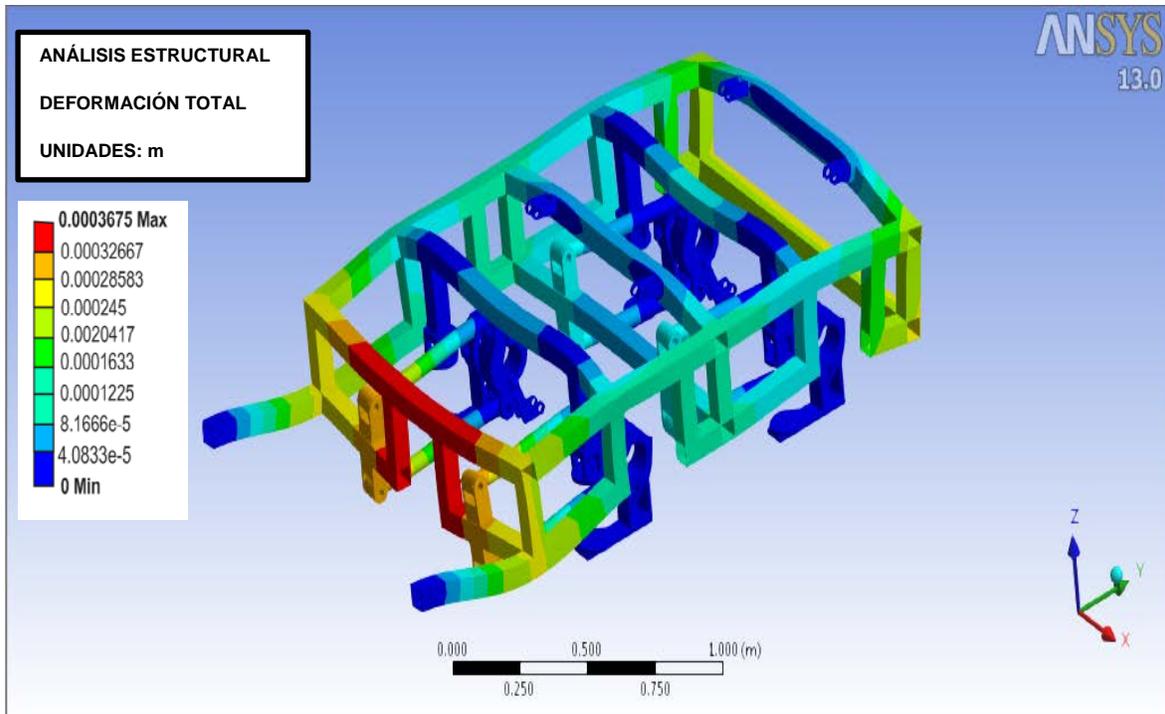


Figura 4.2.7 Deformación total de la estructura de suspensión.

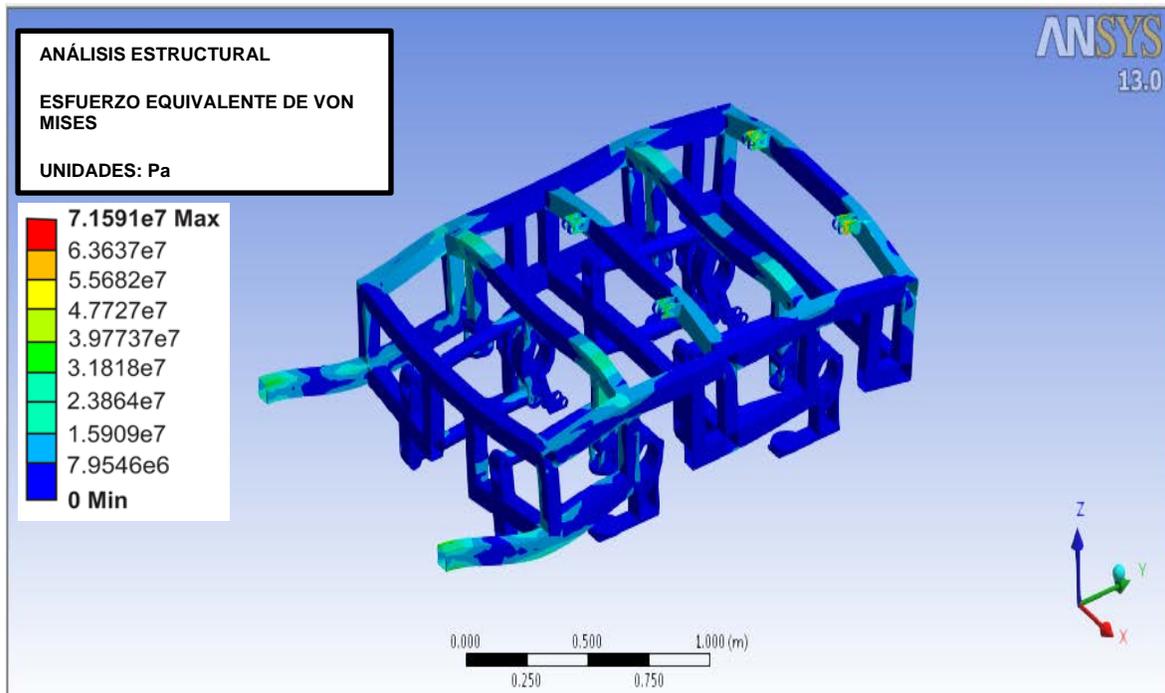


Figura 4.2.8 Esfuerzos equivalentes de Von Mises de la estructura de la suspensión.

Se puede observar que los resultados de deformación que marca la NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999 están por debajo del límite. Ahora se realiza un análisis del chasis básico propuesto en otro trabajo para el midibús, unido a la estructura de la suspensión y así observar como soportan la presión de 80533 Pa. A continuación se muestra en la Figura 4.2.9 la estructura de suspensión y chasis básico (se utiliza el chasis básico por cuestiones de capacidad de la computadora).

Pero cabe destacar que como incrementa el área 1.57029 m^2 , el peso de 22621.86 N se mantiene, el área de la estructura de la suspensión es de 0.70226 m^2 . El análisis del conjunto chasis-suspensión de suspensión se realiza en forma similar al de la estructura de la suspensión sola.

El primer paso es cargar el conjunto chasis-suspensión como en la Figura 4.2.9.

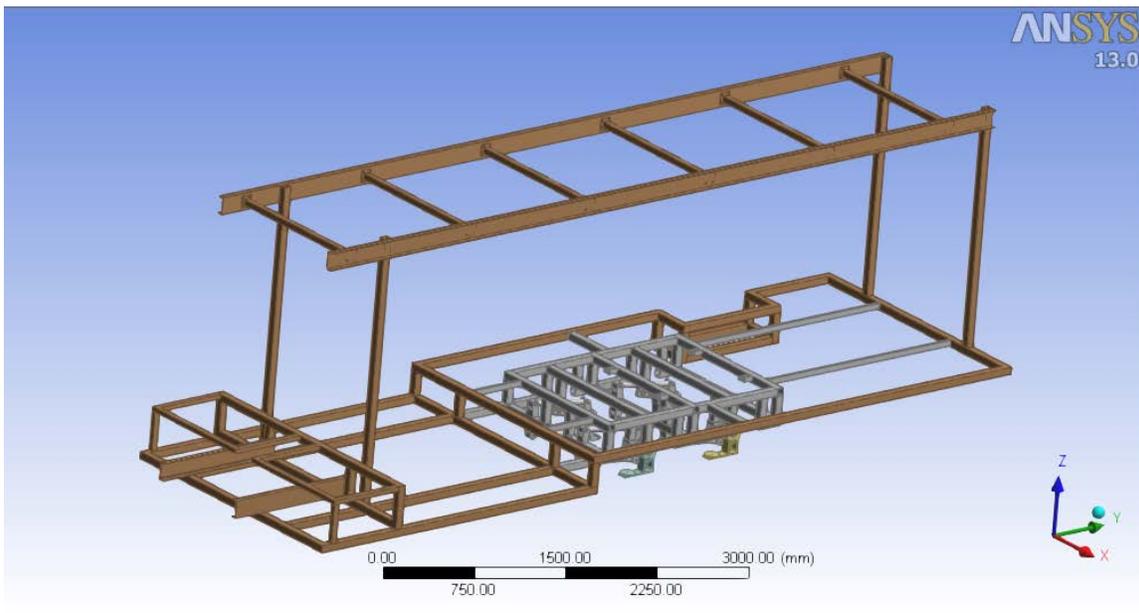


Figura 4.2.9 Conjunto chasis-suspensión para análisis estructural estático.

Posteriormente se realiza de nueva cuenta el mallado de la unión chasis-suspensión mostrado en la Figura 4.2.10.

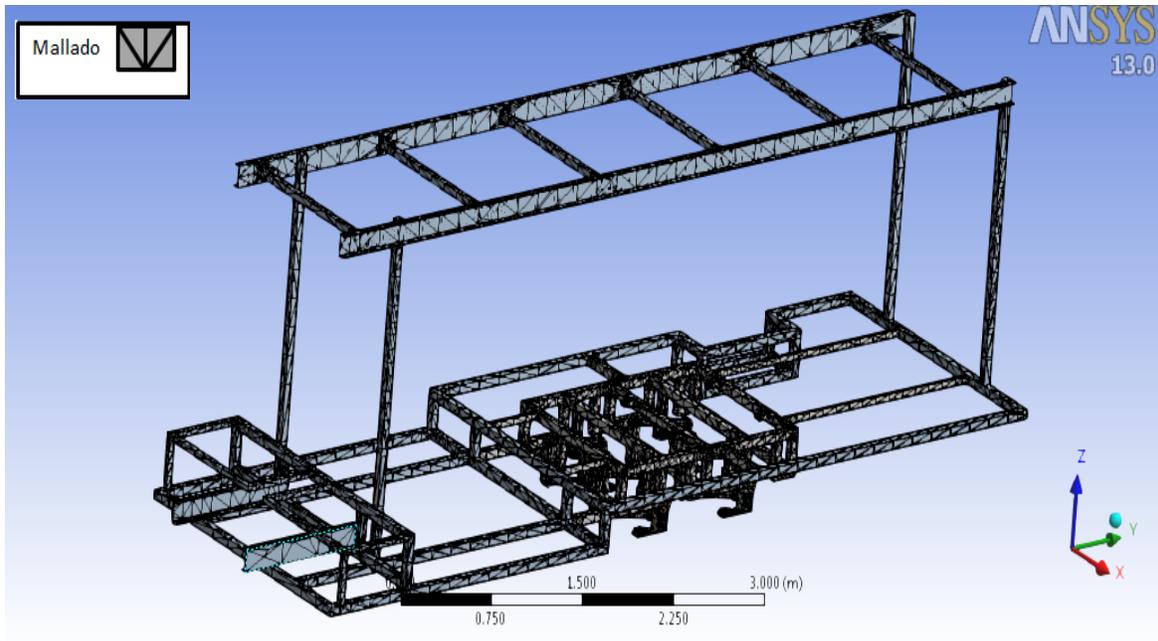


Figura 4.2.10 Mallado de chasis y suspensión de midibús.

A continuación se muestra las sujeciones fijas del chasis y la estructura muy similares al anterior. Las sujeciones fijas se muestran con detalle en la Figura 4.2.11.

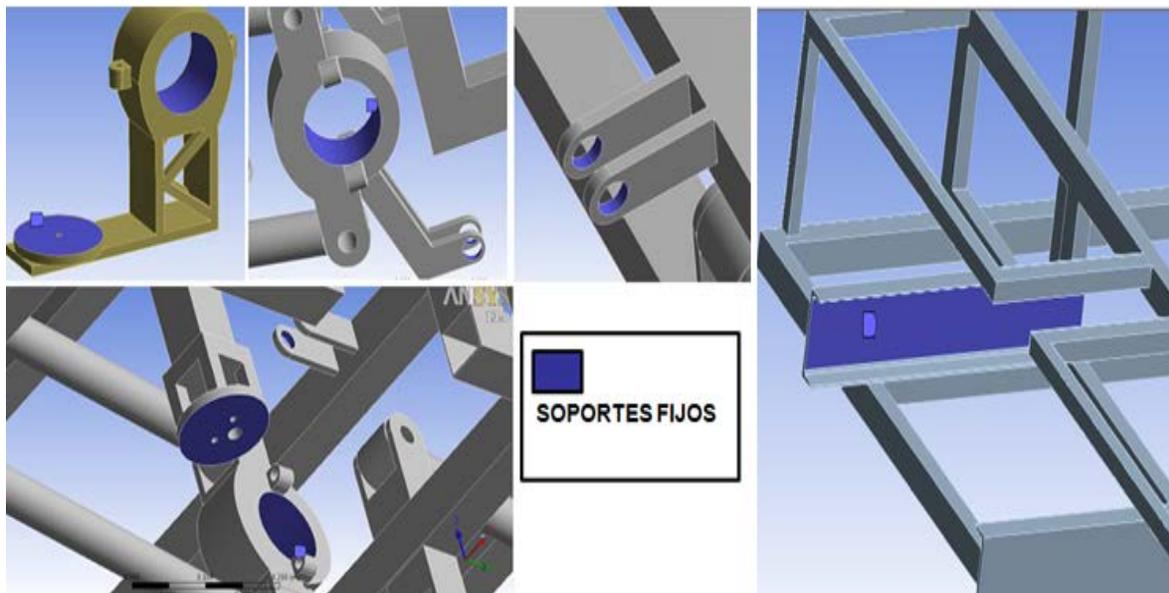


Figura 4.2.11 Detalle de soportes fijos de chasis y suspensión.

El último paso antes de pedir los resultados a ANSYS Workbench, es aplicar sobre la superficie la presión de 80533 Pa como se puede observar en la Figura 4.2.12.

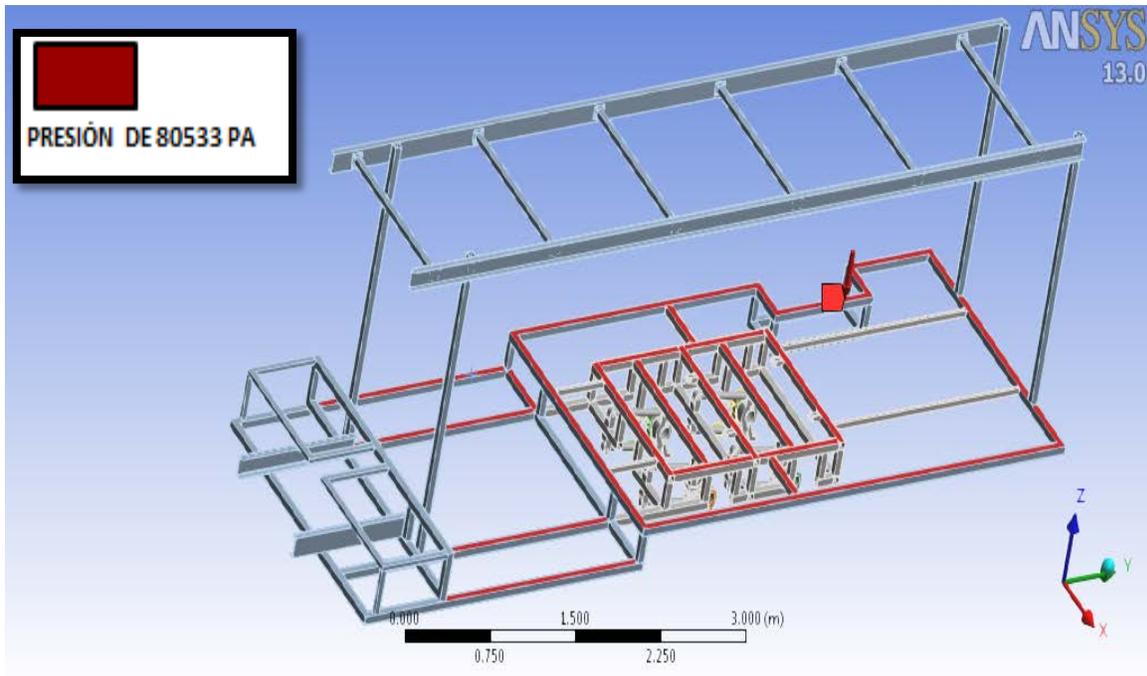


Figura 4.2.12 Aplicación de presión de 80533 Pa sobre la superficie del chasis y la suspensión.

Finalmente se obtienen los resultados de la deformación total y el esfuerzo que se genera en el chasis y la suspensión del midibús. Esto se muestra en la Figura 4.2.13 y Figura 4.2.14.

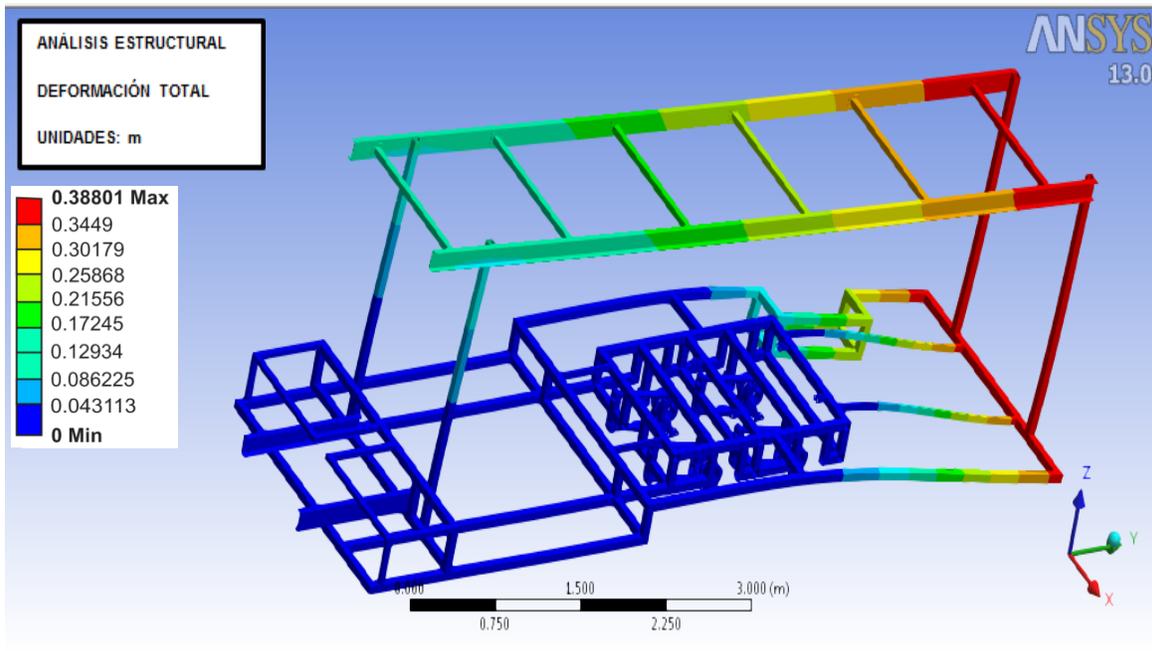


Figura 4.2.13 Deformación total de chasis y suspensión.

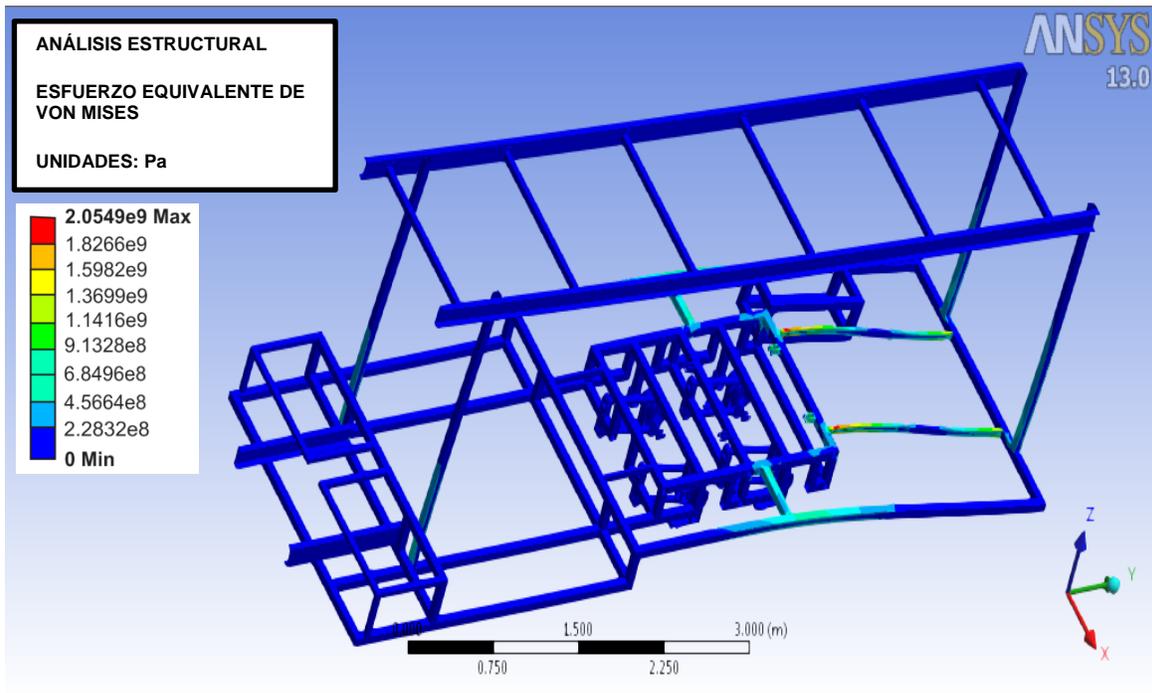


Figura 4.2.14 Esfuerzos equivalentes de Von Mises en chasis y suspensión.

Fácilmente se puede observar que la deformación y esfuerzos subieron de valor, pero esto es porque se trata del chasis más básico que es utilizado por que la computadora no realiza el análisis con el chasis completo, pero la estructura de la suspensión no sufre deformaciones al repartir en mayor área la presión de 80533 Pa y los esfuerzos también puede observarse que son mínimos. Por lo tanto, se asegura que la estructura de la suspensión es resistente y cumple con lo que marca la NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999 en cuestiones de deformaciones elásticas no mayores a 0.015 m.

5. CONCLUSIONES

La suspensión con resortes neumáticos resulta ser más útil y fácil que la suspensión de resortes mecánicos para variar la altura del midibús, y como se pudo analizar en las respuestas de comparación generadas en Matlab, el comportamiento es similar.

Los prototipos de las suspensiones ayudan a observar las fallas de movimiento, deformaciones y esfuerzos que se tienen en el diseño de la suspensión, y a partir de las fallas se mejora el diseño, como en este caso es la propuesta de suspensión siete, que es el conjunto de modificaciones provocado por las fallas de las seis anteriores propuestas.

Es mejor corregir en los modelos diseñados en los programas de CAD que corregir en el modelo ya construido, porque se logra ahorrar material y dinero y usar los recursos hasta estar ya seguros de que el diseño es funcional.

Las animaciones de movimiento dan una mejor idea del comportamiento de los componentes móviles de la suspensión y ayudan a observar qué tanto se puede variar la altura del midibús y si es posible aumentar tal variación.

La selección de componentes es adecuada a los fines de uso del midibús, además de que cuentan con una buena calidad.

El análisis de deformaciones de la estructura de la suspensión muestra que el diseño final propuesto es capaz de cumplir con las deformaciones que marca la NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999 sin ningún problema. Aunque la NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999 no muestra pruebas de esfuerzos máximos para diseño, se observa dónde se presentan y en qué cantidad los esfuerzos, y con ello, observar si necesita algún soporte de apoyo para aliviar tales esfuerzos.

El chasis y la estructura de la suspensión soportan las deformaciones propuestas por la NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, aunque en la parte trasera del chasis se deforma un poco más que en la NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, esto es porque se trata de un chasis básico, ya que el chasis completo diseñado

previamente, al ser analizado por separado, cumple bien las especificaciones de deformación de la NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999. Pero como la suspensión es lo que se trabaja en este proyecto, se observa que no muestra deformaciones, pues la presión ejercida por el peso de los componentes del camión y usuarios propuestos se distribuye entre el chasis y la suspensión.

La animación de deformación del resorte neumático mostraría de mejor forma la acción de la bolsa, pero como no se logró saber cómo se realiza tal movimiento, solo se coloca una restricción de movimiento de distancia entre las superficies en la que se encuentra el fuelle neumático.

La altura que se logra obtener por el diseño de la estructura y selección de las bolsas es adecuada, porque las banquetas y paraderos no están normados.

Se diseña la suspensión trasera para el midibús porque la suspensión delantera solamente se utiliza el cambio de resorte metálico por resorte neumático.

La construcción del prototipo de una parte de la suspensión trasera, es necesario realizarla, para tener algo más tangible y demostrar de una manera más creíble el funcionamiento de la última propuesta de la suspensión.

Cabe destacar que las prospectivas para este proyecto son para empezar a utilizar un vehículo de motor trasero, como base para el desarrollo del midibús para evitar problemas con la flecha cardan y lograr que el midibús descienda más. También el modelo propuesto de suspensión queda disponible para mejoras en el diseño o también para proponer otro material más ligero que el acero estructural ASTM A36 o proponer una nueva geometría de los componentes.

5. REFERENCIAS

Abonce, Ramón, 2006-2009. Revista Observatorio Urbano Local de Querétaro (OUL), transporte público, cuarta publicación.

Cendrero, Agenjo Benjamín .2008. El transporte aspectos y tipología, primera edición.

Collop, Andrew, 1997. "Modelling Whole-Life Pavement Performance.

Haldex AB. 2009. Manual de válvula Haldex de refacciones y posventa de productos de suspensiones. L20664 1/10.

<http://www.alianzaflotillera.com/carga/el-sistema-de-suspension-en-los-vehiculos-pesados/>. Visitada el 10 de julio del 2013.

<http://www.ciudadmexico.com.mx/transporte>. Última visita el 4 de Junio del 2014.

http://www.contitech.com.mx/pages/produkte/luftfedersysteme/luftfedersysteme_es.html. Página de suspensión neumática de la Marca Continental. 2 de junio del 2013.

<http://www.monroe.com/es-US/support/Technical-Training/SuspensionSystem>. Última visita 12 de marzo del 2013.

Martínez Héctor, 2009. Especificaciones de diseño para vehículos de transporte público. UNAM. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-067-SCT-2/SECOFI-1999, Transporte Terrestre-Servicio de autotransporte económico y mixto-midibús-características y especificaciones técnicas y de seguridad.

Norma Oficial Mexicana, NOM-068-SCT-2-2000, transporte terrestre-servicio de autotransporte federal de pasaje, carga y transporte privado-condiciones físico -mecánica y de seguridad para la operación en caminos y puentes de jurisdicción federal.

Norma Oficial Mexicana NOM-EM-033-SCT-2-2000, Transporte terrestre-Límites máximos de velocidad para los vehículos de carga, pasaje y turismo que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.

Ogata Katsuhiko, 2005. Ingeniería de control moderna. Cuarta edición.

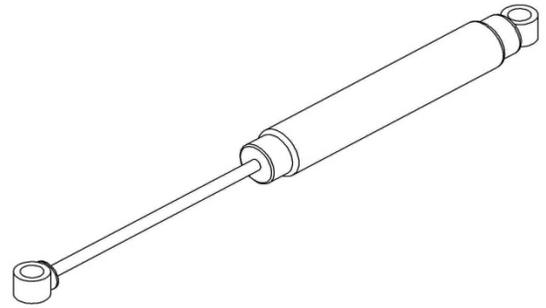
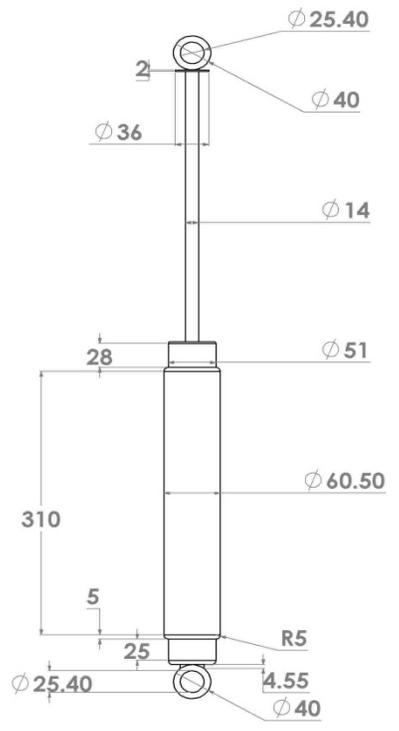
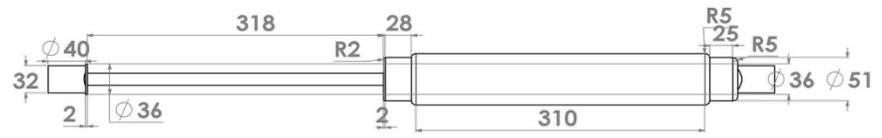
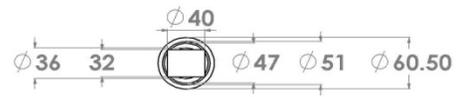
Pimentel Alexis, 2007. Validación de componentes para una suspensión neumática en un vehículo utilitario. IPN. México.

Shigley Joseph Edward .1985. Diseño en ingeniería mecánica, cuarta edición.

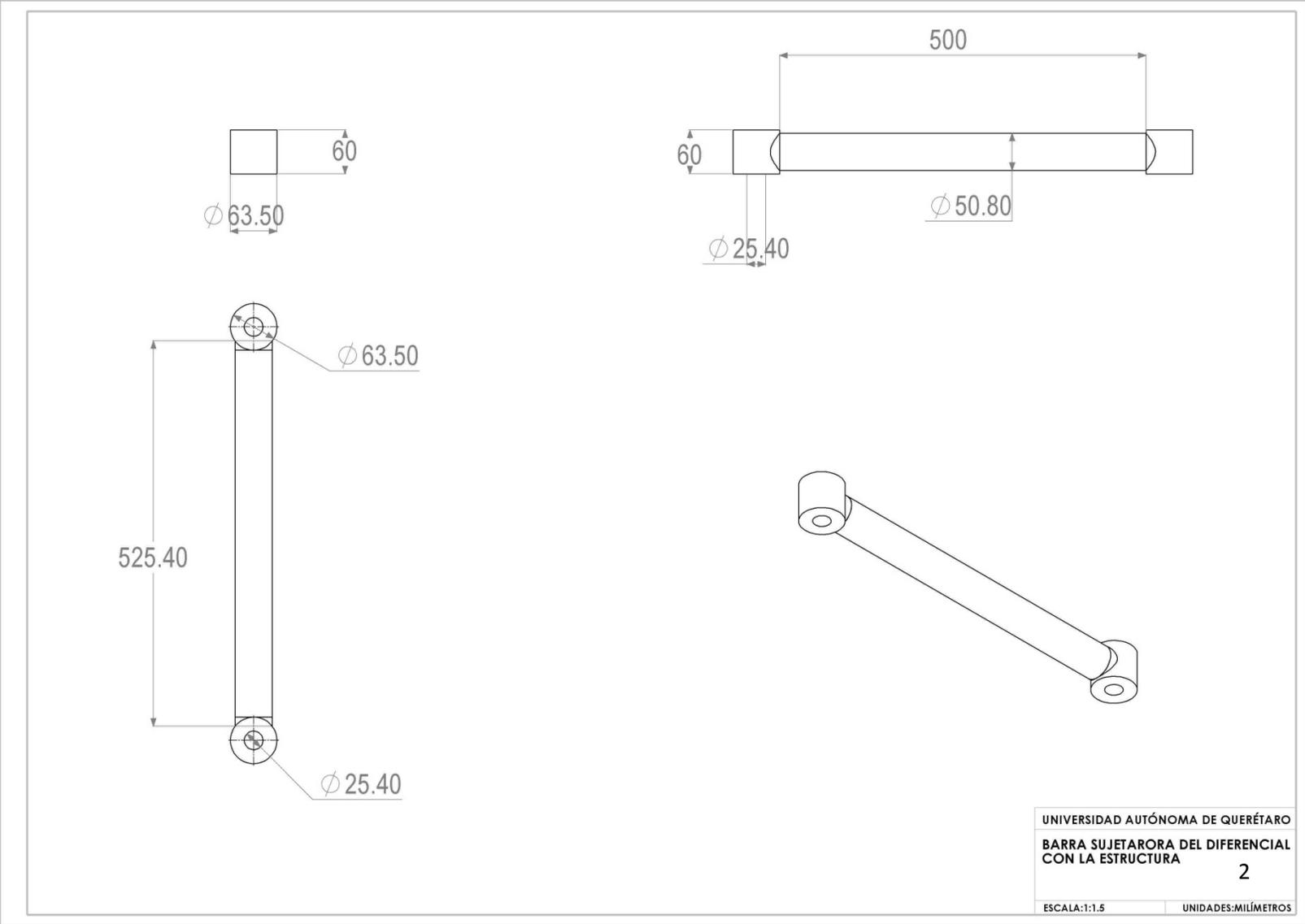
7. APÉNDICE

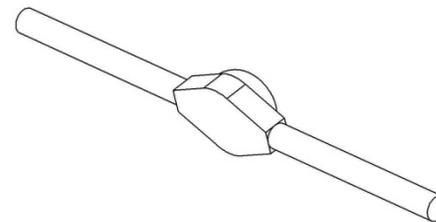
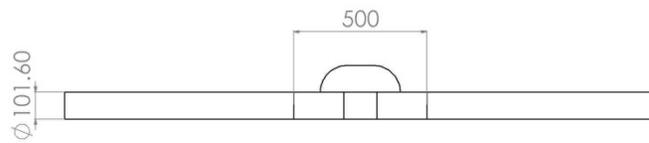
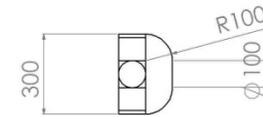
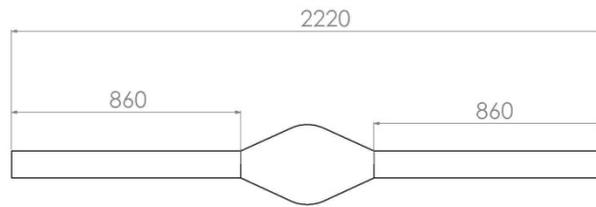
En esta sección se presentan los planos de las piezas de la última propuesta de suspensión de midibús realizada, además de los componentes que la conforman.

No. plano	Descripción
1	AMORTIGUADOR
2	BARRA SUJETADORA DEL DIFERENCIAL
3	DIFERENCIAL PARA SUSPENSIÓN
4	EJE TRASERO
5	ESTRUCTURA DE SUSPENSIÓN
6	LLANTA DE MODELO DE SUSPENSIÓN
7	RESORTE NEUMÁTICO PARA F350
8	SOPORTE PARA BARRAS Y AMORTIGUADOR
9	SOPORTE INFERIOR DE RESORTE NEUMÁTICO
10	SOPORTE SUPERIOR DE RESORTE NEUMÁTICO
11	VISTA DE ENSAMBLE SUSPENSIÓN-CHASIS
12	VISTA EXPLOSIONADA SUSPENSIÓN- CHASIS

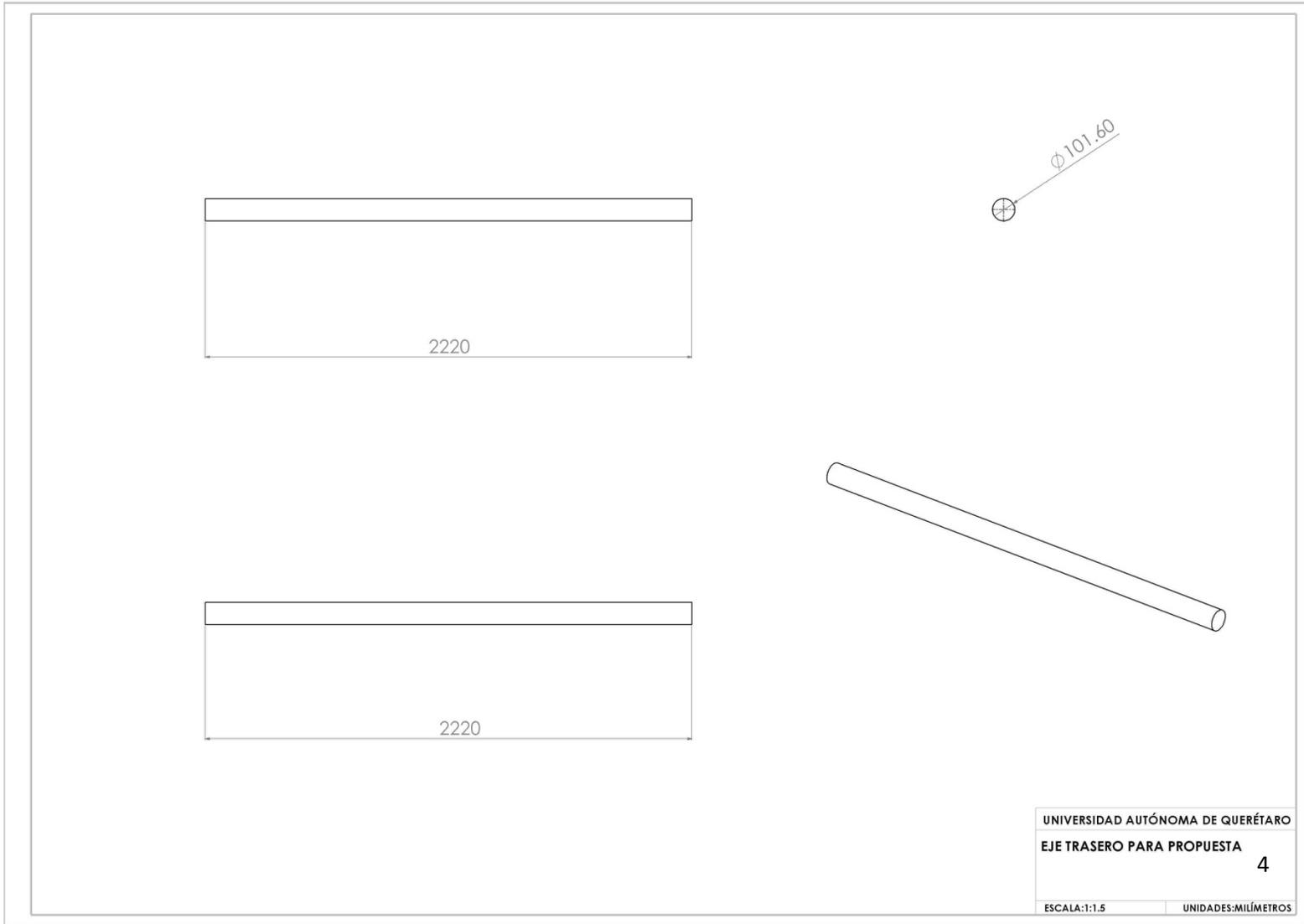


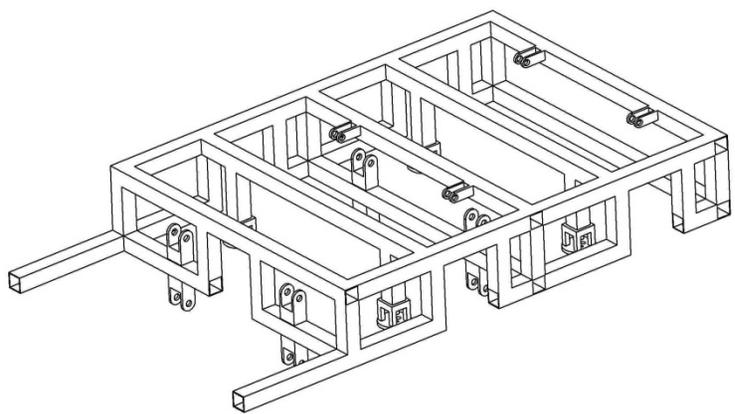
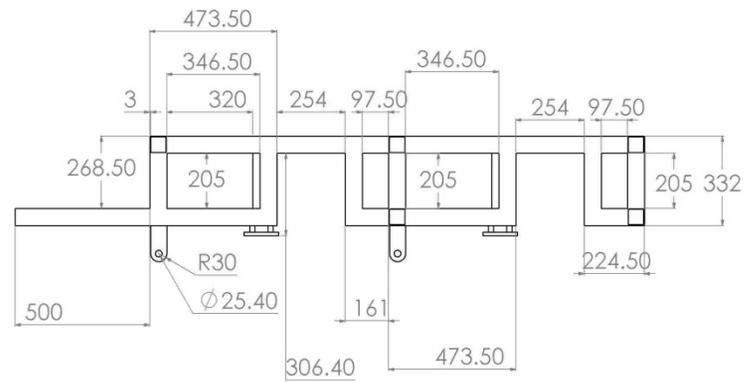
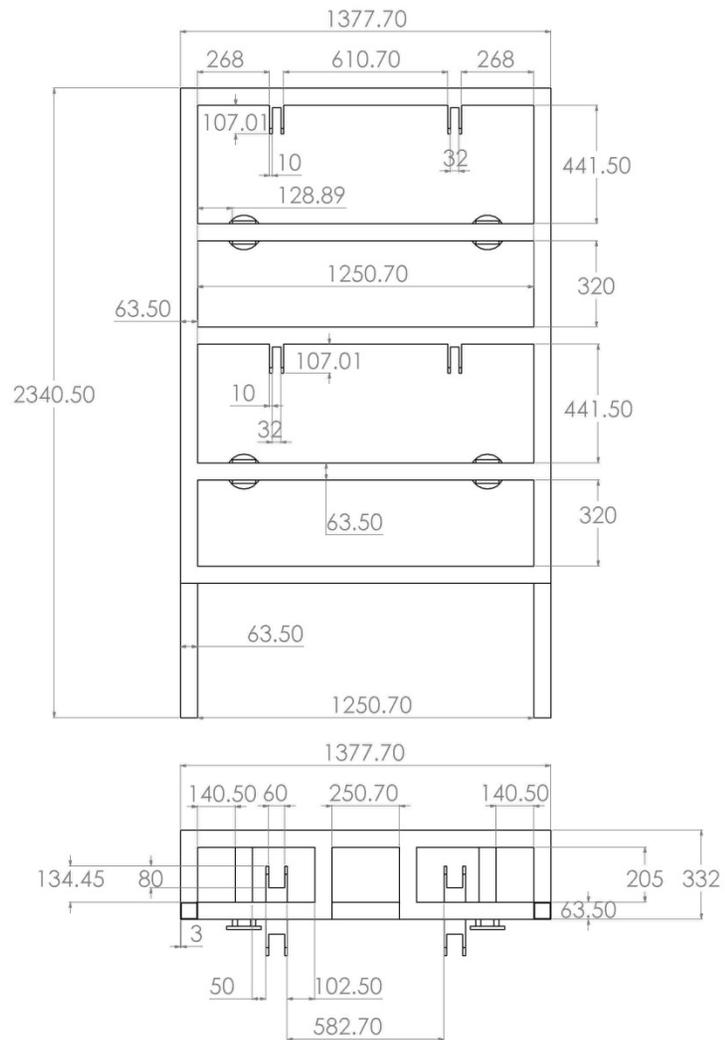
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO	
AMORTIGUADOR	
1	
ESCALA: 1:1.5	UNIDADES: MILÍMETROS



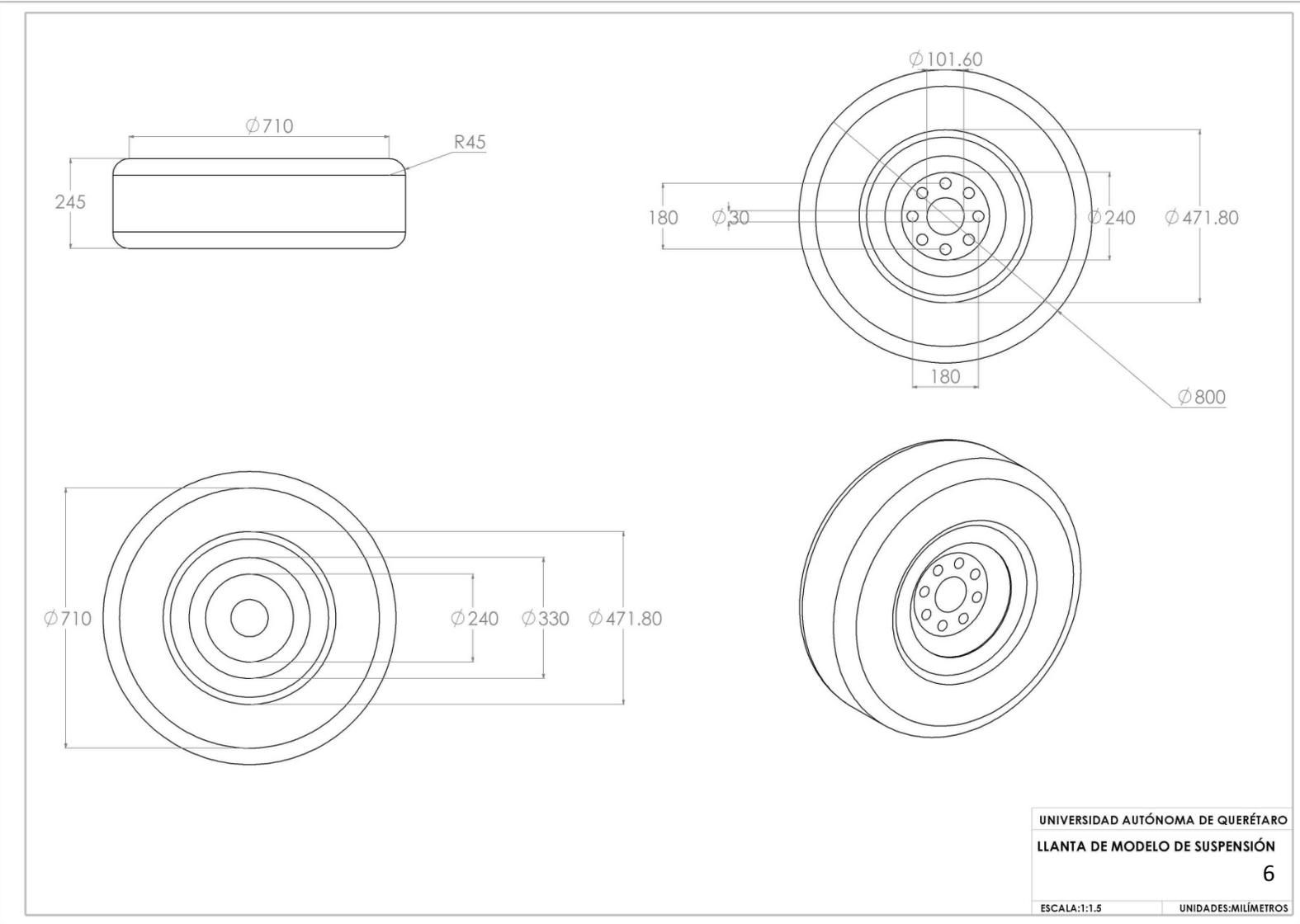


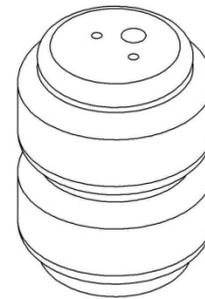
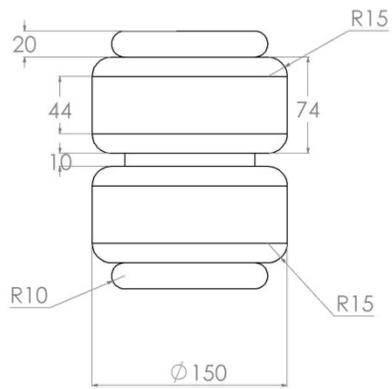
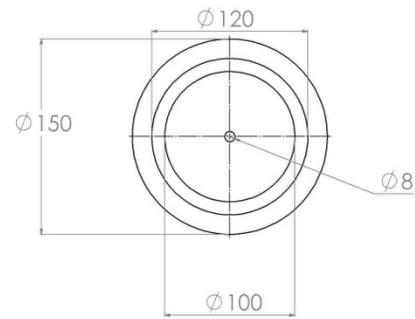
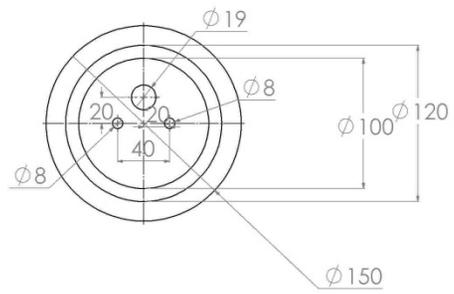
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
DIFERENCIAL PARA PROPUESTAS DE
SUSPENSIÓN
3
ESCALA:1:1.5 UNIDADES:MILÍMETROS



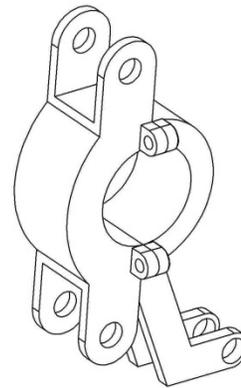
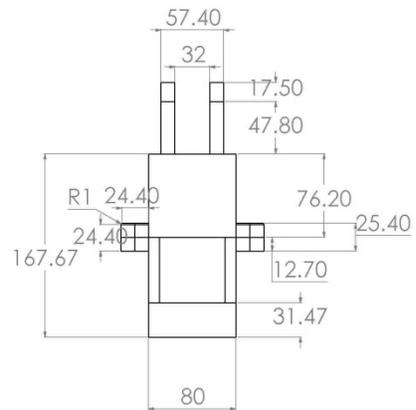
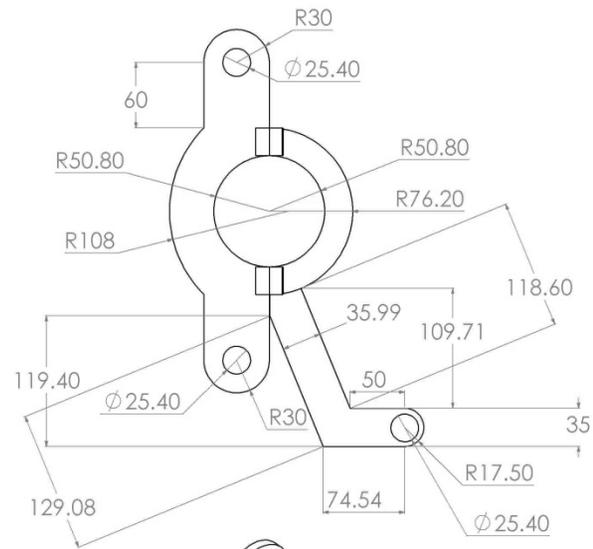
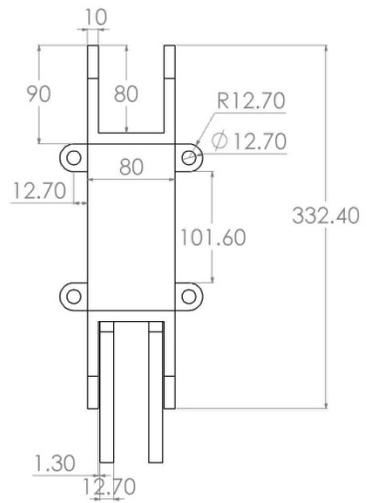


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
ESTRUCTURA DE SUSPENSIÓN
5
 ESCALA:1:5 UNIDADES:MILÍMETROS

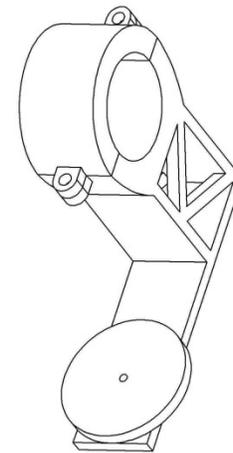
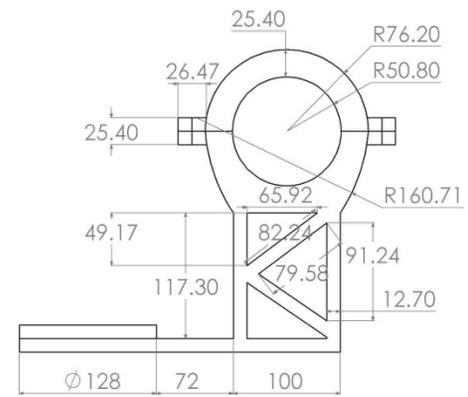
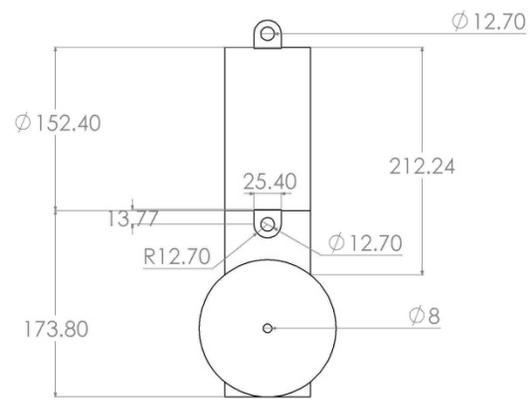
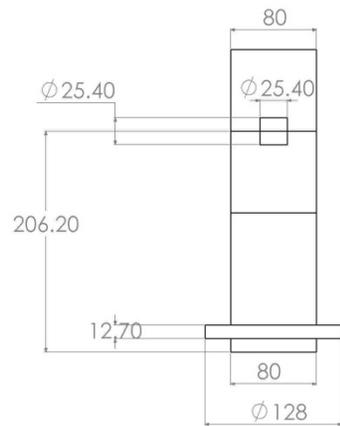




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
 RESORTE NEUMÁTICO PARA F-350
 7
 ESCALA: 1:1 UNIDADES: MILÍMETROS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
 SOPORTE PARA BARRAS Y
 AMORTIGUADOR 8
 ESCALA: 1:1.5 UNIDADES: MILÍMETROS



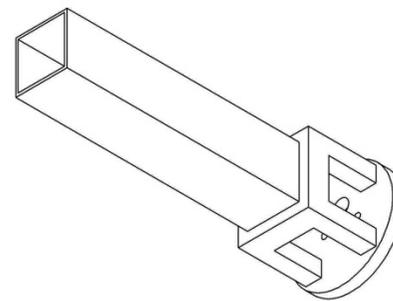
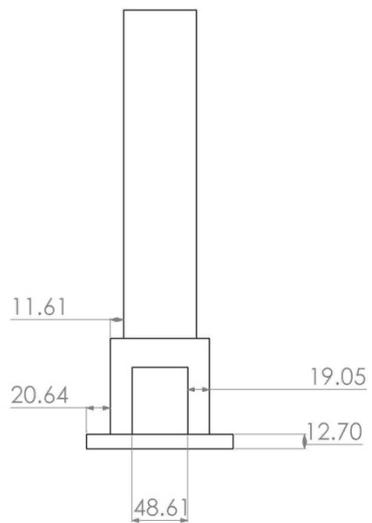
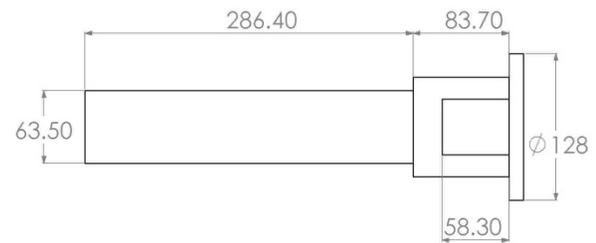
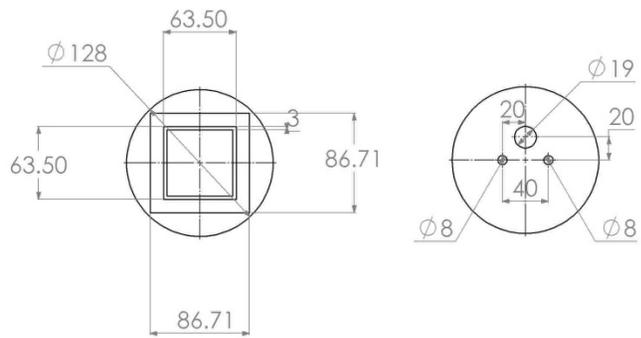
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

SOPORTE INFERIOR DE RESORTE
NEUMÁTICO CON SUJECIÓN EN
DIFERENCIAL

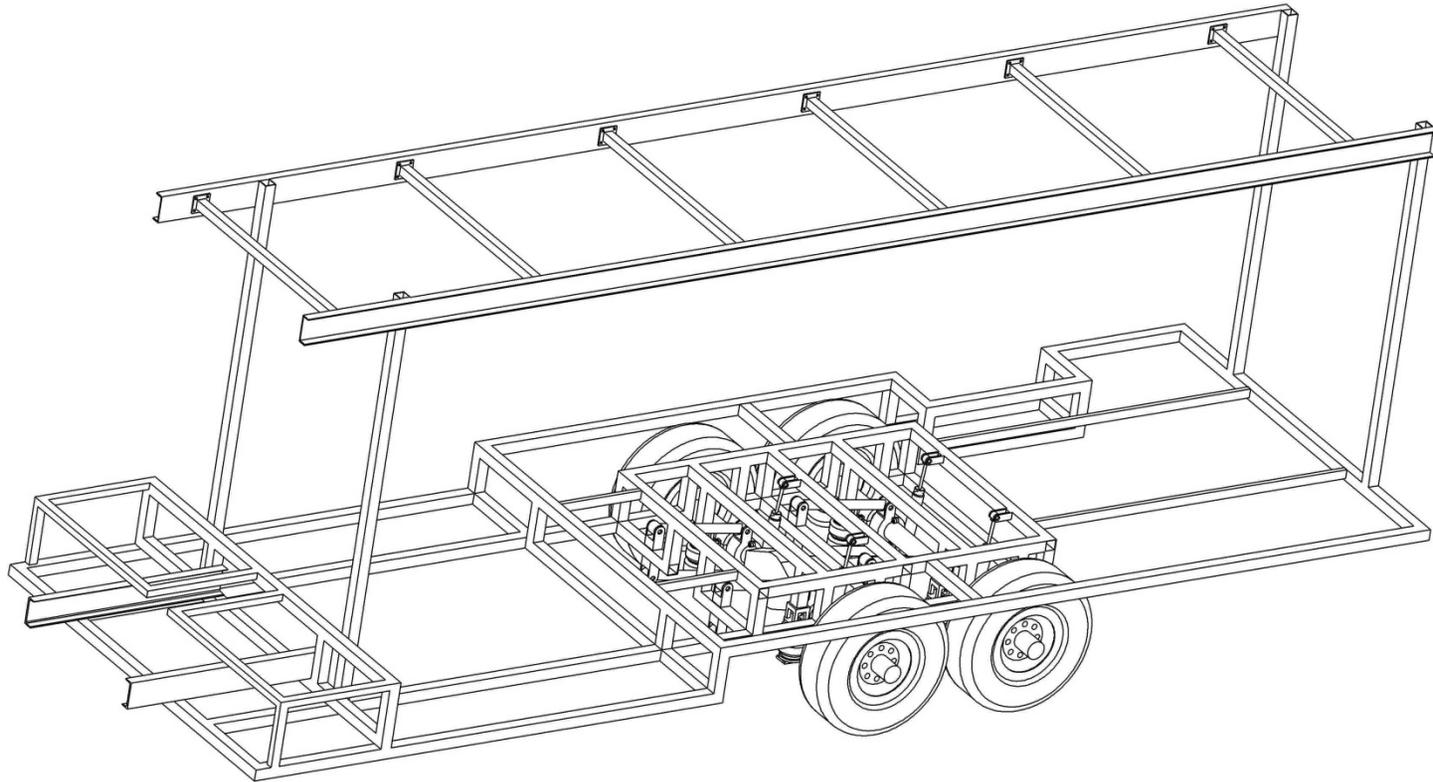
9

ESCALA: 1:1.2

UNIDADES: MILÍMETROS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
 SOPORTE SUPERIOR PARA RESORTE
 NEUMÁTICO
 10
 ESCALA:1:1.2 UNIDADES: MILÍMETROS



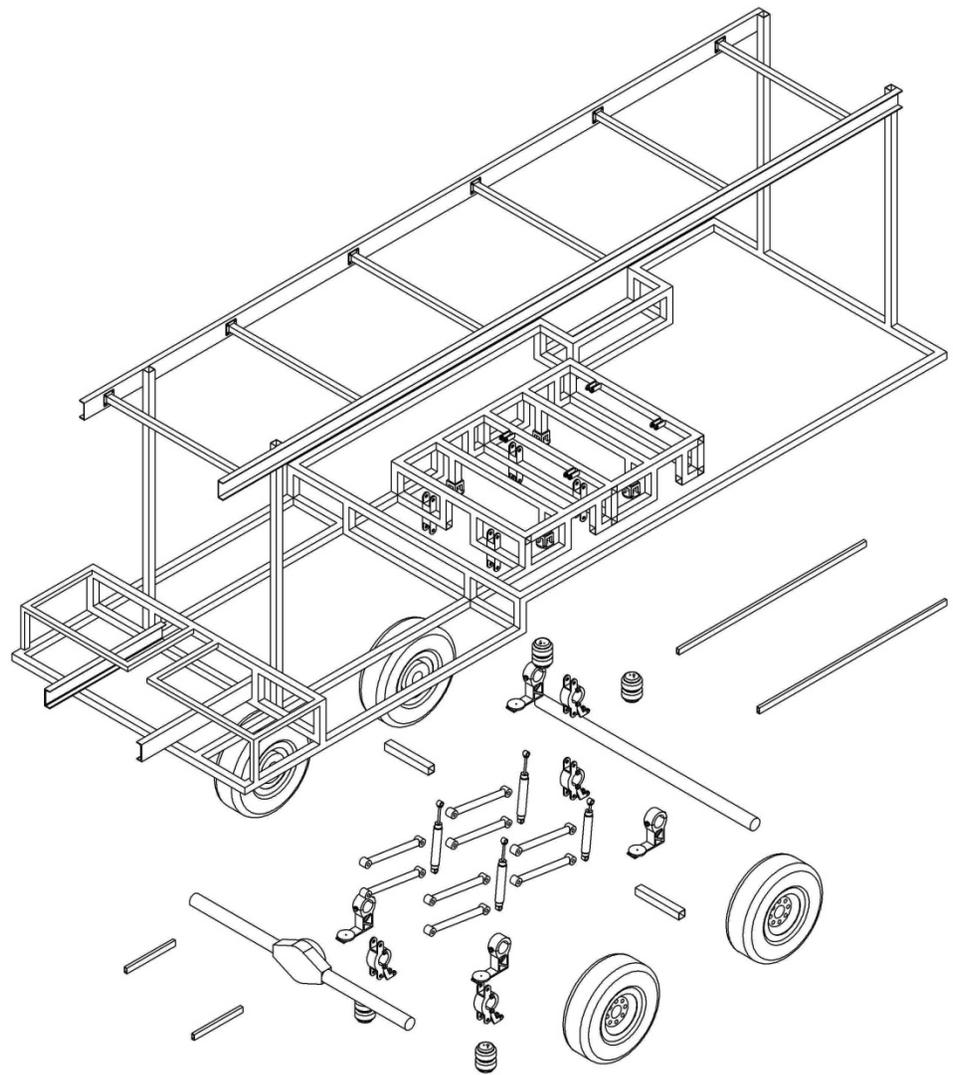
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

VISTA DE ENSAMBLE DE ESTRUCTURA
DE SUSPENSIÓN Y CHASIS

11

ESCALA: 1:7

UNIDADES: MILÍMETROS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
VISTA EXPLOSIONADA DE SUSPENSIÓN
CHASIS Y COMPONENTES DE MIDIBÚS
12
ESCALA:1:10 UNIDADES:MILÍMETROS