



ANÁLISIS Y COMPARATIVA DE UN REMOLQUE CON SUSPENSIÓN NEUMÁTICA ABATIBLE Y UN REMOLQUE CONVENCIONAL PARA EL TRANSPORTE DE VEHÍCULOS LIVIANOS

(analysis and comparison of a folding trailer with air suspension and a conventional trailer for the transport of light vehicles)

Juan Carlos Castelo Valdivieso

Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba – Ecuador
Ingeniero Automotriz, Magister en Sistemas Automotrices
j_castelo@esPOCH.edu.ec

Santiago David Paredes Andino

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
Ingeniero Automotriz
sant-paredes@esPOCH.edu.ec

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Juan Carlos Castelo Valdivieso y Santiago David Paredes Andino (2018): "Análisis y comparativa de un remolque con suspensión neumática abatible y un remolque convencional para el transporte de vehículos livianos.", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (mayo 2018). En línea: [//www.eumed.net/rev/caribe/2018/05/remolque-suspension-neumatica.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/05/remolque-suspension-neumatica.html)

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presenta el análisis de un remolque abatible con suspensión neumática para transportar vehículos livianos de hasta dos toneladas, además se muestra la comparativa de tiempos y esfuerzos físicos del operario, al momento de cargar vehículos para su transporte, la innovación del remolque desarrollado se encuentra en su funcionalidad y principio de funcionamiento, ya que toda la estructura del mismo desciende hasta el nivel del piso para que pueda rodar con facilidad el vehículo a ser transportado, una vez que se encuentre asegurado el automóvil, gracias a la suspensión neumática y circuitos electrónicos, el remolque llegará a una altura apropiada para poder circular y ser remolcado, reduciendo de esta manera el esfuerzo físico y riesgo del operario

Palabras clave: Remolque, suspensión neumática, análisis CAD

ABSTRACT

This work shows the analysis of a folding trailer with air suspension for transport light vehicles of up to two tons, also comparison of times and physical efforts of operator when the vehicles are loading for transportation, the innovation of the developed trailer, is in its functionality and operating principle, since the all structure descends to the level of the floor so that the vehicle to be transported can roll easily, once the car is secured, thanks to the air suspension and electronic circuits, the trailer will reach an appropriate height to circulate and be towed, thus reducing the physical effort and risk of the operator.

Keywords: tráiler, air suspension, analysis CAD

1. INTRODUCCIÓN

El remolque ha sido utilizado desde hace varios años atrás, 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). La Norma INEN-2656 clasifica a los remolques en la categoría O de acuerdo a la siguiente codificación:

- 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.

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 & Gangotena, 2009).

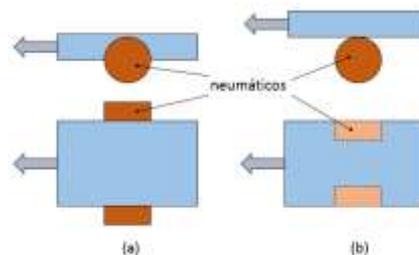


Figura 1. (a) Remolque entre ruedas. (b) Remolque sobre ruedas.

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.

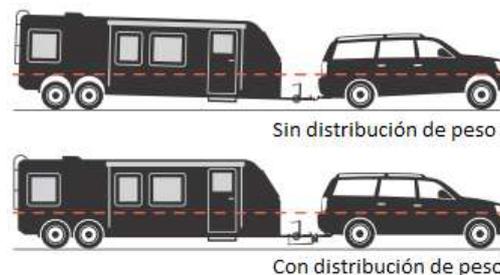


Figura 2. Sistema de distribución para remolques

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.

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 3:

- 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.

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

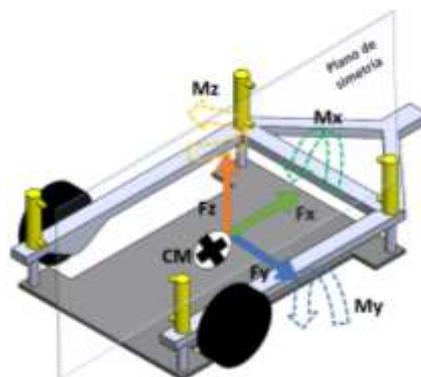


Figura 3. Plano de simetría y ejes de referencia análisis de remolque
Fuente:(Omegalfa, 2016)

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 (Omegalfa, 2016).

Materiales y sistemas neumáticos

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, 2016).

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, 2016).

Los actuadores neumáticos se clasifican en cilindros, motores y actuadores rotativos. 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).

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. 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 (Parker, 2012).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales usados para el diseño de remolques

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. Los metales, y en especial el acero 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.

Es así que para el cuadro principal se utilizó un acero A-36 de geometría rectangular de medidas 10x50x3 mm, para los rieles internas y para el triángulo de arrastre, una medida de 80x40x3 mm y aluminio corrugado con un espesor de 1.5 mm para recubrir el piso.

Selección de elementos de elevación y soporte

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

Compresor



Figura 4. Compresor marca airmaxxx

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 4, el mismo que se tarda 4 minutos en cargar la bomba de 18,92 litros.

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

Acumulador de aire



Figura 5. Reservorio de aire

El reservorio utilizado será de 18,92 litros, y soporta una presión máxima de 250 psi; el mismo que está diseñado en los planos originales del remolque.

Airbags



Figura 6. Airbags

Se estableció la adquisición de cuatro airbags de la marca contitech, mismos que son de 256 mm de desplazamiento y tiene las siguientes 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.

Electroválvulas



Figura 7. Electroválvulas

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.

Control eléctrico de posición



Figura 8. Control eléctrico de posición

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

Acoples y mangueras



Figura 9. Acoples neumáticos

Para la interconexión del acumulador de aire con las electroválvulas y los airbags se utilizó acoples de bronce de medida $\frac{1}{2}$ pulgadas, 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 464,12 psi.

Manómetros



Figura 10. Manómetro

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.

Dimensionamiento de la estructura

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

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

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

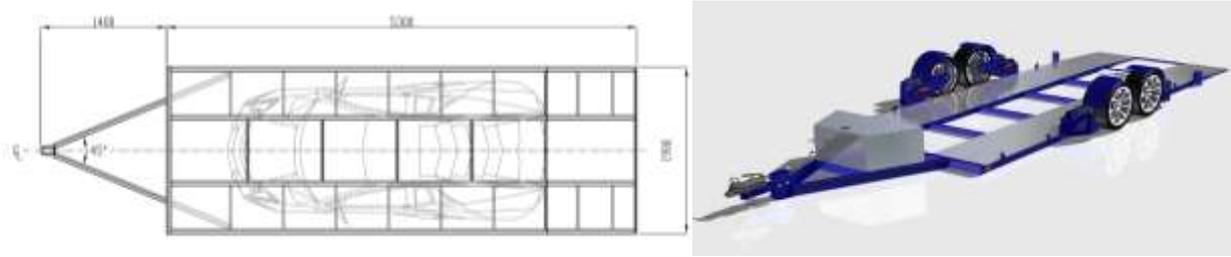


Figura 11. Remolque con dimensiones preliminares

Determinación de cargas

a. 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

b. 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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

Para verificar el comportamiento de la estructura utilizamos el software ingenieril llamado Ansys en su versión 17.0, este programa permite analizar estructuras y comportamientos mecánicos mediante integrales sucesivas de cada elemento, se analizó al remolque en la posición de carga 1, cuando el vehículo a ser transportado está subiendo al remolque, para este caso se procedió 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.

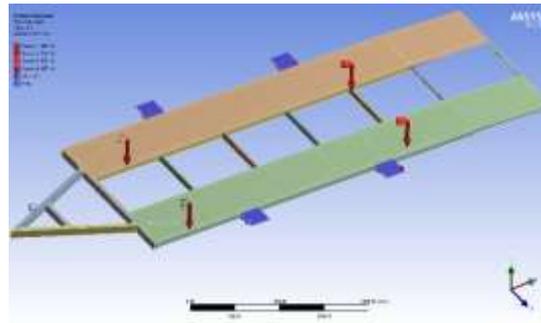


Figura 12. Asignación de cargas

Deformaciones

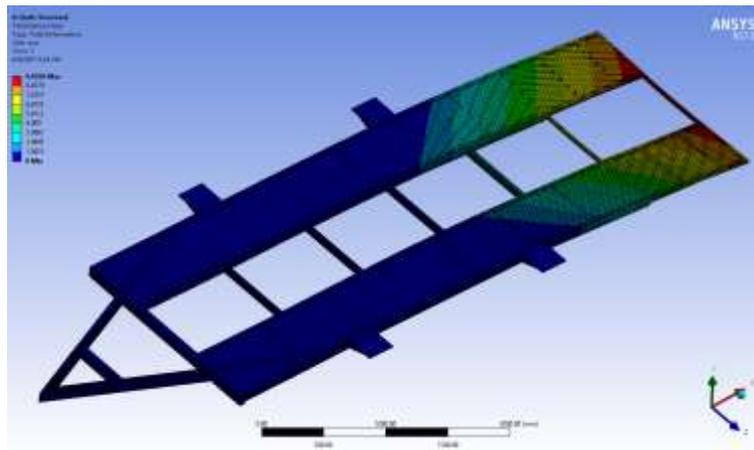


Figura 13. Estado de Deformaciones

Criterio de deformación permisible: $L/300$

Deformación máxima del modelo = 9.02 mm

Largo máximo del chasis = 5342 mm

Por tanto:

$$5342 / 300 = 17.8 \text{ mm}$$

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

Esfuerzos

Los estados de tensión de Von Mises 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.

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 estimó que las reacciones sobre la ménsula se dan en dos posiciones principales, una con el remolque en posición horizontal, y otra con el "Airbag" inflado, donde se tiene un ángulo de aproximadamente 130° entre la ménsula y el brazo.

Se valoró 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 "Airbag" y una de tracción en el eje pasante que sirve de pivote para la rueda.

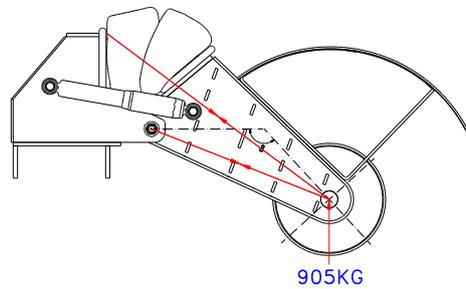


Figura 14. Ménsula de elevación

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

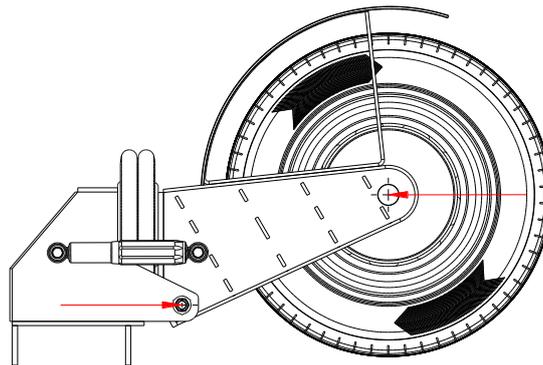


Figura 15. Fuerzas generadas en la ménsula

Deformación máxima

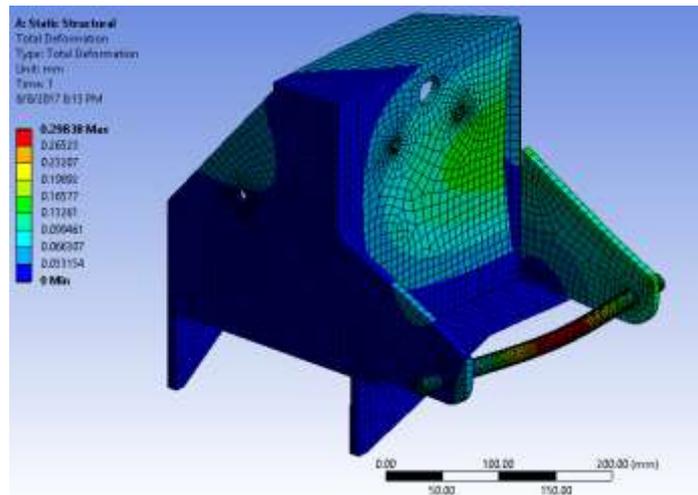


Figura 16. Deformación máxima de ménsula

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.

Esfuerzo máximo

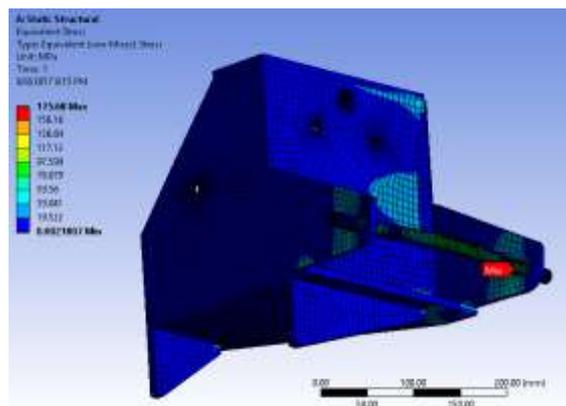


Figura 17. Esfuerzo máximo de ménsula

El caso del esfuerzo se mostró 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 consideró 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.

4.2 DISCUSIÓN

Una vez realizados los diferentes análisis a través del método de elementos finitos y con la ayuda del software Ansys, se realizó la construcción del remolque para evaluarlo en función del tiempo de carga y descarga, altura máxima a la que se va a transportar los diferentes automóviles y las presiones a las que funcionará el sistema neumático.

Modelo de vehículo	Remolque convencional				Remolque móvil con circuitos neumáticos			
	Esfuerzo del operario	Altura alcanzada (mm)	Presión del sistema (bares)	Tiempo de elevación (minutos)	Esfuerzo del operario	Altura alcanzada (mm)	Presión del sistema (bares)	Tiempo de elevación (minutos)
Chevrolet corsa wind (906kg)	SI	370	0	15	NO	390	6	4.05
Volkswagen gol power (1320kg)	SI	370	0	15	NO	350	6.5	6.10
Chevrolet aveo family 2016 (1455kg)	SI	370	0	10	NO	370	7	8.45
Mazda B2600 4x4 (1835kg)	SI	370	0	10	NO	310	11	16.50

Tabla 1. Comparativa de funcionamiento de un remolque convencional y uno con suspensión neumática abatible

Como se puede apreciar en la Tabla 1, se comparó la funcionalidad del remolque con suspensión neumática y la de un remolque convencional al momento de cargar cuatro vehículos, es claro que el tiempo de carga varía en función de la presión a la cual se encuentre el sistema neumático, así como también el peso del vehículo a ser remolcado, sin embargo en todos los casos se elimina el esfuerzo físico del operario al utilizar el remolque abatible, al instante de cargar un automotor en un remolque convencional, el operario debía bajar las rampas, asegurarlas, tener precaución de que el vehículo sea centrado en dichas rampas y subir finalmente el auto.

Gracias al sistema abatible desarrollado en el presente trabajo, el operario únicamente tubo que accionar un pulsado del mando electrónico para que el remolque descienda hasta el nivel del piso y pueda rodar el vehículo a ser transportado, una vez asegurado y cargado, el operario presionó otro pulsador del mando para que el remolque se eleve hasta las diferentes alturas mostradas en la Tabla 1, dependiendo del peso del automotor, eliminando por completo el riesgo de un accidente al momento de cargar o descargar el automóvil del remolque y reduciendo a cero el esfuerzo físico del operario. En la Figura 18 se puede observar el remolque con un auto cargado a una altura óptima para ser transportado.



Figura 18: Remolque con vehículo cargado

5. 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 Ecuador; para que este pueda circular libremente.
- Se verificó la resistencia estructural del remolque mediante la utilización de programas CAE (ANSYS 17.0), en los cuales se obtuvo 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 instaló unos airbags de mayor capacidad que la carga máxima planteada, asegurando de esta manera el correcto funcionamiento del remolque.
- Finalmente se verificó la eficiencia del remolque al momento de cargar y descargar un vehículo para ser transportado, teniendo una eliminación del esfuerzo físico del operario y reduciendo totalmente el riesgo de un posible accidente laboral.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Madueño, Héctor. (2012). Diseño y análisis de un Remolque para tres motocicletas. Leganés : Universidad Carlos III de Madrid.
- 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.
- Cardona, Jaime. (2010). Diseño y construcción de un remolque de doble eje con articulación delantera. Guayaquil : Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- CURTMFG. (2010). Understanding Towing. [En línea]. https://assets.curtmfg.com/webfiles/Understanding_Towing_6.pdf. [accesado 28 noviembre 2017].
- Omegalfa. (2016). Grupo Omegalfa. [En línea]. http://www.grupoomegalfa.com/ganchos_donas.php. [accesado 02 diciembre 2017]

- Ashby, Michael F. (2010). *Materials Selection in Mechanical Design*. Cambridge : Butterworth-Heinemann.
- Castiñeira, Nelson. *Educación Técnica*. (2016) [En línea] http://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/Page4697.htm. [accesado 02 diciembre 2017]
- Roldán, José. (1989). *Neumática, Hidráulica y Electricidad Aplicada*. Ciudad de México : S.A. Ediciones paraninfo.
- Parker Hannifin. (2012). *Cilindros de fuelle neumáticos .*, Catálogo PDE2576TCES, pág. 4.