

# Diseño y Manufactura de un Vehículo Propulsado Humanamente

**Jorge Abraham Castro Gasca**

Departamento de Ingeniería Mecánica  
Instituto Tecnológico de Celaya  
*tote\_re3p@live.com.mx*

**Job Yahvéh Ariztia Cano**

Departamento de Ingeniería Mecánica  
Instituto Tecnológico de Celaya  
*sirano\_54@hotmail.com*

**Ana Katia Silva Jiménez**

Departamento de Ingeniería Mecánica  
Instituto Tecnológico de Celaya  
*katia\_6724@hotmail.com*

**Héctor Alejandro Borrego Romero**

Departamento de Ingeniería Mecánica  
Instituto Tecnológico de Celaya  
*rotceboro\_11@hotmail.com*

**Ysmael Núñez Romo**

Departamento de Ingeniería Mecánica  
Instituto Tecnológico de Celaya  
*kana\_mmm@hotmail.com*

**Enrique Ramírez Romero**

Departamento de Ingeniería Mecánica  
Instituto Tecnológico de Celaya  
*perroon\_150792@hotmail.com*

**María Elena Guía Ruiz**

Departamento de Ingeniería Mecánica  
Instituto Tecnológico de Celaya  
*malennagr@gmail.com*

**Luis Alejandro Alcaraz Caracheo**

Departamento de Ingeniería Mecatrónica  
Instituto Tecnológico de Celaya  
*alex.alcara@gmail.com*

## **Resumen**

Se busca desarrollar un vehículo que sea capaz de desempeñarse íntegramente en las actividades que el ser humano realiza, con el principal objetivo de ser libre de contaminantes. Asegurando que este vehículo tenga grandes ventajas respecto a una bicicleta común, logrando que sea más cómodo al viajar, seguro, rápido, más práctico al poder transportar objetos, y fácil de manejar, haciéndolo una verdadera opción de transporte dentro de nuestra comunidad. En este trabajo se describe la metodología de diseño, pruebas experimentales y análisis realizados al vehículo propuesto.

### **1. Introducción**

El calentamiento global se ha convertido en uno de los principales problemas que afectan a la humanidad, debido al uso de contaminantes que son generados día a día y con el objetivo de proponer una mejora a la calidad de vida de las personas, se creó un HPV (Human Powered Vehicle) que además cumple con los requisitos de diseño, seguridad y pruebas basados en la normatividad de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), para la construcción del vehículo se basó en el reglamento HPVC 2013 (Human Powered Vehicle Challenge 2013) [10], el vehículo, debe ser capaz de frenar de una velocidad de 25 km por hora a 0 en una distancia menor a 6 metros. También debe de ser capaz de mantener la estabilidad en una línea recta de 100 metros con facilidad a una velocidad de 5 a 8 metros por segundo. Así mismo ser capaz de girar totalmente en un radio de 3 metros. Con respecto a la

seguridad, el vehículo cuenta con una barra antivuelco RPS (Rollover Protection System) con la finalidad de proteger al conductor en caso de cualquier accidente.

## **2. Metodología**

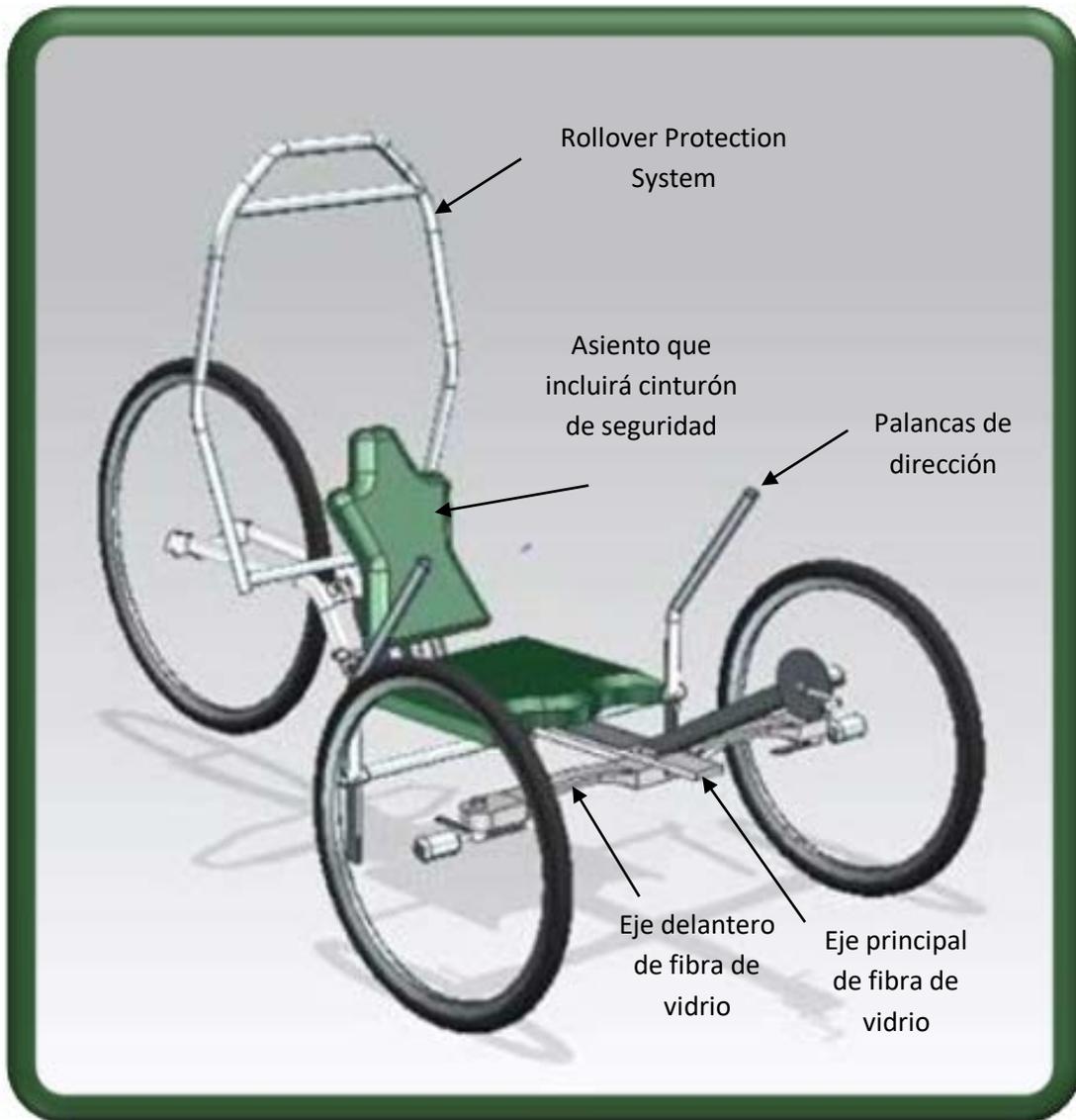
La metodología que se utilizó para este proyecto fue la mostrada en la Figura 1. Se realizó una búsqueda de vehículos HPV [1] y [2], con lo cual se generaron varias ideas para el diseño final del vehículo, para decidir el mejor modelo se generó un diagrama de diseño que se puede apreciar en la tabla 1, el diagrama consta de múltiples características las cuales son evaluadas según criterios como estabilidad, facilidad de montaje, la fricción con el suelo que se interpreta como menor velocidad, entre otras. De esta forma se obtuvo un modelo del vehículo y se diseñó tal como se muestra en la figura 2.



Figura 1. Proceso de diseño ingenieril.

<b>Tabla 1. Diagrama de diseño comparando los modelos más viables.</b>			
<b>Ruedas</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>Suma</b>
<b>2 ruedas</b>	9	2	11
<b>3 ruedas</b>	5	8	13
<b>Configuración</b>	<b>Giro</b>	<b>Estabilidad</b>	
<b>Si son 3 ruedas, 2 adelante y 1 atrás</b>	4	8	12
<b>Si son 3 ruedas, 1 adelante y 2 atrás</b>	7	3	10
<b>Tracción</b>	<b>Potencia generada</b>	<b>Facilidad de ensamble</b>	
<b>Tracción adelante con 2 ruedas</b>	9	2	11
<b>Tracción adelante con 1 rueda</b>	4	4	8
<b>Tracción atrás con 2 ruedas</b>	9	6	15
<b>Tracción atrás con 1 rueda</b>	6	9	15
<b>Frenos</b>	<b>Estabilidad</b>	<b>Facilidad de montaje</b>	
<b>Frenos adelante</b>	5	3	8
<b>Frenos atrás</b>	4	6	10
<b>Frenos adelante y atrás</b>	9	3	11
<b>Control de dirección</b>	<b>Comodidad</b>	<b>Facilidad de montaje</b>	
<b>Volante</b>	5	7	12
<b>Palancas a los lados</b>	8	9	17
<b>Dirección</b>	<b>Giro seguro</b>	<b>Facilidad de montaje</b>	
<b>Dirección adelante</b>	8	6	14
<b>Dirección atrás</b>	3	8	11

En la figura 2 además de mostrar el modelo propuesto del vehículo se exponen algunos de los elementos más importantes del vehículo, incluyendo elementos de seguridad para el conductor.

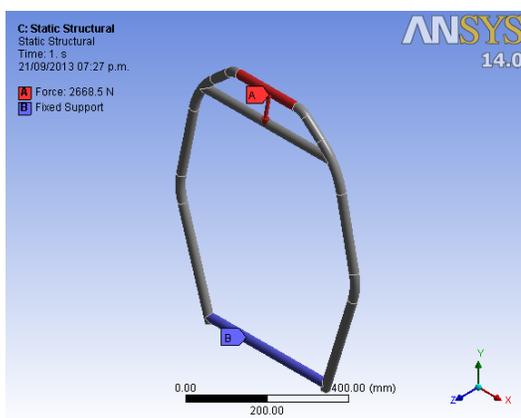


**Figura 2. Elementos principales del vehículo.**

a. Análisis RPS (Rollover Protection System)

El RPS es una estructura que debe de cubrir, en caso de alguna volcadura, al conductor del vehículo, evitando que el tripulante sufra algún tipo de lesión,

asegurando que éste no tenga contacto alguno con el suelo. El RPS se realizó a partir de una tubería de Aluminio 7075 T6 de 1" de diámetro cédula 40, el cual tiene un módulo elástico de 71.7 GPa y una resistencia a la cedencia de 542 MPa. Se bosquejó el modelo del RPS en el software de diseño NX<sup>1</sup>, para después simularlo en el programa ANSYS Structural<sup>2</sup> bajo un estado de cargas, se simuló aplicarle una fuerza de 2668.5 N a 12° en la parte superior, siendo la parte inferior el soporte, como se muestra en la figura 3. Se sometió a las cargas sugeridas en las Reglas HPVC 2013.



**Figura 3. Análisis por elemento finito al sistema de protección por volcadura.**

a. Pruebas Mecánicas.

Se realizaron los ensayos mecánicos a los materiales utilizados en el vehículo para determinar su resistencia. Se realizaron las probetas para un ensayo de flexión a 3 puntos<sup>3</sup> a la fibra de vidrio utilizada en el eje principal del vehículo y en el eje delantero. En las figuras 4 y 5 se muestran el posicionamiento de la probeta y el

<sup>1</sup> NX (Unigraphics) Versión 7.5; paquete de software de diseño CAD/CAM/CAE. Siemens PLM Software [7].

<sup>2</sup> ANSYS Structural 14.0. Software de simulación puramente estructural [8]

<sup>3</sup> Norma ASTM D790 – 03 Estándar Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials [9].

punto donde se rompió dicha probeta. Para estos ensayos se utilizaron 5 probetas. La elaboración de la fibra de vidrio se basó en los métodos encontrados en el manual referenciado en [3].



**Figura 4. Probeta de fibra de vidrio colocada en posición para realizar el ensayo de flexión a 3**



**Figura 5. Punto de ruptura de la probeta de fibra de vidrio.**

Al RPS se le realizaron 2 ensayos mecánicos no destructivos, uno horizontalmente con una carga de 1400 N (figura 6) y otro verticalmente con carga de 2700 N (figura 7). Los ensayos sólo se realizaron para asegurar que la estructura del RPS no fallaría en caso de que el vehículo se volcara. Como el RPS no demostró una deformación significativa, así como tampoco alguna ruptura los ensayos se consideraron exitosos.



**Figura 6. RPS colocado horizontalmente para ensayo con carga de 1400 N.**



**Figura 7. RPS colocado verticalmente para ensayo con carga de 2700 N.**

b. Análisis Estructural de los ejes principales

El vehículo consta de dos ejes principales perpendiculares los cuales son la base para montar los demás elementos del vehículo. Es por eso que al ser los elementos donde se encuentran los mayores esfuerzos se decidió que serían estos dos de los que se estudiarían en el análisis de elemento finito. Como idea innovadora, el material propuesto para estos elementos es fibra de vidrio, la cual se fabricó con resina, monómero y catalizador. Para determinar sus propiedades mecánicas se realizaron pruebas experimentales anteriormente mencionadas (ver figuras 4 y 5). Los resultados de dichos ensayos se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2. Resultados de ensayo de flexión.**

Nomenclatura	Valores
$\sigma_{mr}$ Resistencia a la flexión	$\sigma_{mr} = 186,17MPa$
E Módulo de Young	$E = 61,76MPa$
$\delta$ Deformación	$\delta = 1,06mm$

Se bosquejó el ensamble de ambos ejes, para después simular que está esforzado a una carga puntual utilizando como herramienta a ANSYS Structural<sup>4</sup>. Para la simulación se consideraron 1470,9 N como el peso del conductor. Al analizar el eje central de perfil en T, se sometió a una carga de 750 N en el centro del eje, se obtuvo un esfuerzo máximo de 156.95 Mpa y una deformación

<sup>4</sup> ANSYS Structural 14.0. Software de simulación puramente estructural.

máxima de 8.3205 mm, como se muestra en la figura 8. Al simular el eje que soporta las llantas se le aplicó una fuerza de 400 N en el extremo donde se encuentra la llanta, que generaba una reacción de 300 N, tal como se aprecia en la figura 9, se obtuvo que su esfuerzo máximo es 81.11 MPa y se deformó 12.571mm.

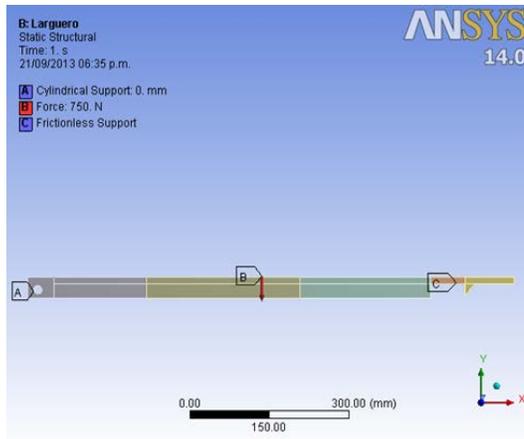


Figura 8. Análisis del eje principal, realizado de fibra de vidrio sometido a cargas.

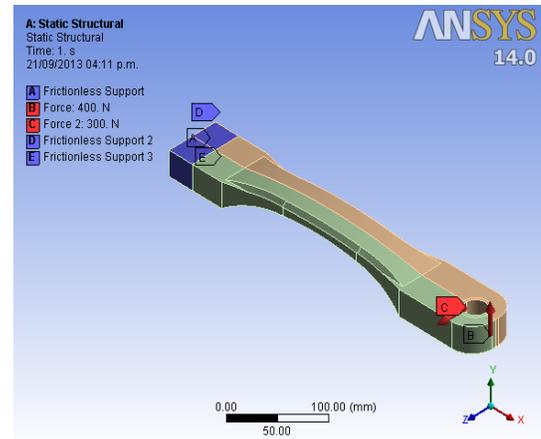


Figura 9. Análisis de la pieza delantera de fibra de vidrio sometido a cargas.

c. Manufactura del prototipo.

*Ejes principales de fibra de vidrio.* Para darle la forma a los ejes principales se fabricaron moldes para obtener un diseño especialmente resistente a la flexión, en la figura 10 se puede observar el eje en T justo después de desmoldarse.

*Ensamble.* Una vez obteniendo los dos ejes principales se ensamblan con el propósito de que el vehículo pueda avanzar y direccionarse, se puede apreciar el proceso de ensamble en las figuras 11 y 12. Se consultaron los procesos correctos y características para lograr uniones precisas y limpias al unir acero, aluminio y la fibra de vidrio [3] [4],[5],[6].



Figura 10. Eje con perfil en T, apenas desmoldado.



Figura 11. Ensamble de los ejes principales con las llantas y el amortiguador.



Figura 12. Posicionamiento del asiento móvil en el vehículo.

### 3. Resultados

Del análisis de elementos finitos se obtuvo que el valor del esfuerzos de von Mises máximo para la estructura RPS fue de 224.38 MPa, con el cual ocurrió una deformación de 34.31 mm. El factor de seguridad resultante fue de 2.4. Estos resultados se muestran en las figuras 13 y 14.

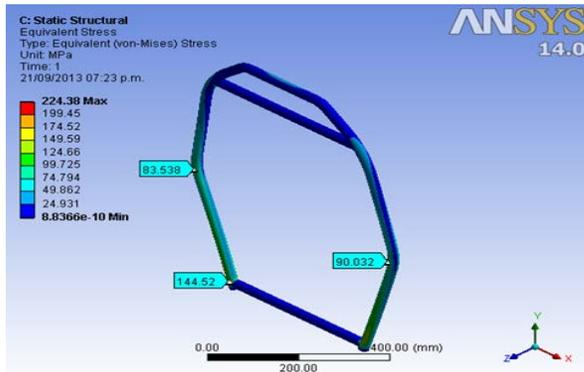


Figura 13. Análisis del RPS por esfuerzos.

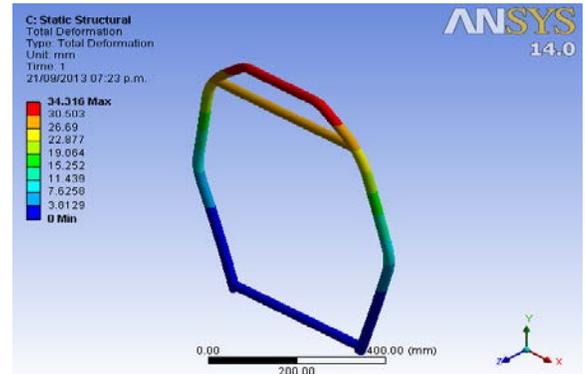


Figura 14. Análisis del RPS para encontrar las deformaciones ocasionadas por las cargas aplicadas.

Los resultados arrojados por la simulación por elemento finito para los ejes principales se muestran en las figuras 15-18. El factor de seguridad del eje delantero se obtuvo de 2.3 comparando los resultados reales de los ensayos mecánicos sobre la fibra de vidrio con los esfuerzos resultado de las cargas colocadas sobre los ejes.

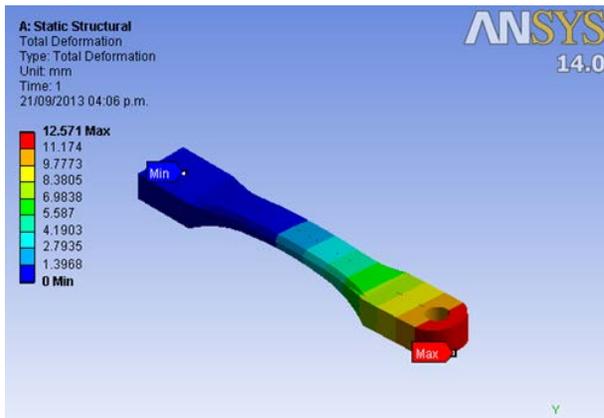


Figura 15. Análisis de la pieza delantera de fibra de vidrio mostrando las deformaciones.

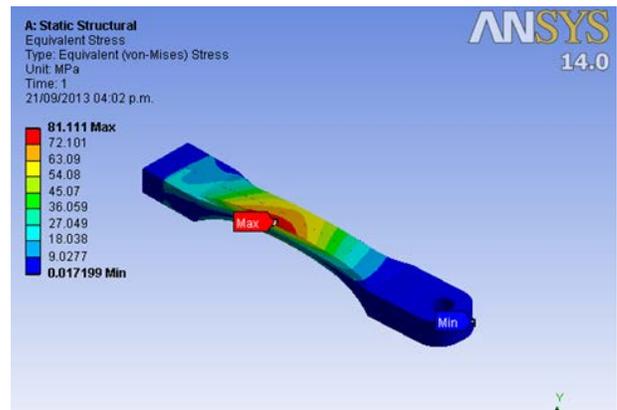


Figura 16. Análisis de la pieza delantera de fibra de vidrio mostrando los esfuerzos en ella.

Para el factor de seguridad del eje principal se obtuvo el valor de 1.2.

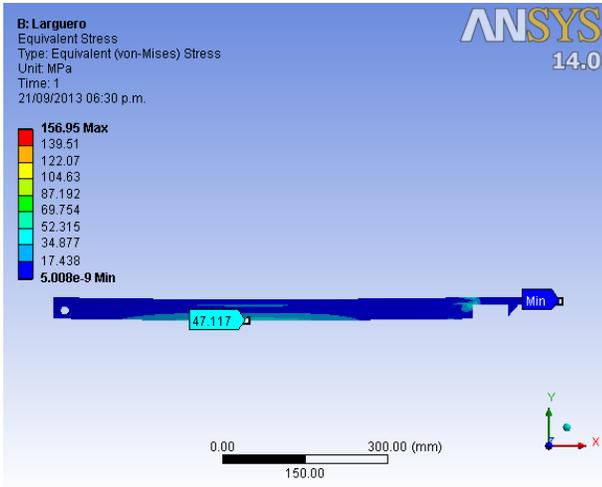


Figura 17. Análisis del eje principal, realizado de fibra de vidrio mostrando los esfuerzos a los que está sometido.

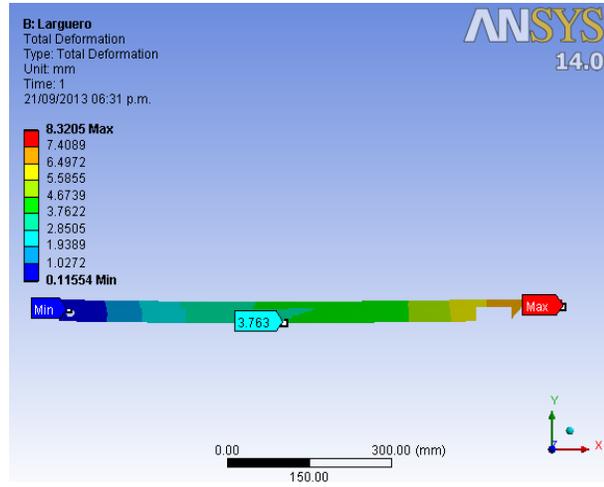


Figura 18. Análisis del eje principal, realizado de fibra de vidrio mostrando las deformaciones a las que está sometido.

Tabla 3. Comparación de los resultados con los requerimientos de diseño.

Característica	Requerimientos de diseño	Pruebas
Peso del vehículo (kg)	25	19
Frenado (m/s <sup>2</sup> )	A una velocidad de 6.6 m/s frenó en 7 m	A una velocidad de 6.6 m/s frenó en 5.5 m
Velocidad máxima (km/hr)	40	30
Radio de vuelta (m)	2.5	2.5
Flexión del eje principal (m)	0.05	0.04
Peso máximo (KN)	4	9
Esfuerzo máximo a la flexión de la fibra de vidrio (Mpa)	200	186
Deformación RPS (mm)	34.36	25

a. Comparaciones – Requerimientos de diseño, análisis y pruebas.

La tabla 3 muestra la comparación respecto a los objetivos y resultados teóricos que se obtuvieron en el proceso de análisis con los resultados reales obtenidos en las siguientes pruebas.

- Prueba de seguridad. Revisión para descartar las partes punzantes del vehículo que puedan atender contra la integridad física del conductor.
- Prueba de frenado y velocidad. El objetivo fue alcanzar 5 m/s y frenar en menos de 6 metros (figura 19).
- Radio de giro. El vehículo tenía que tener la capacidad de girar en un círculo con 3m de radio (figura 20).
- Prueba de resistencia. Recorrer durante 2.5 horas un camino compuesto de obstáculos, altos totales, rugosidades distintas y cambios de pendientes (figura 21).



**Figura 19. Revisión de partes punzantes.**



**Figura 20. Prueba de velocidad y frenado.**



Figura 21. Prueba de radio de giro.



Figura 22. Prueba de resistencia.

#### 4. Conclusiones

Se buscó cumplir todas las especificaciones marcadas en las reglas HPVC 2013, pero un factor muy importante fue la comodidad del conductor, así que en la construcción del vehículo el diseño del asiento fue primordial, así como la ubicación y forma de la dirección, basándose en que fuera eficaz y fácil de manejar.

También se logró el objetivo de crear una fibra de vidrio que permitiera un amortiguamiento natural, una resistencia a la flexión suficiente para las necesidades del vehículo, y así como crear un vehículo final liviano, que como resultado dará una mayor velocidad y agilidad, gracias a la fibra también se logró reducir los costos de producción.

Las metas de diseño se vieron mejoradas en un pequeño porcentaje en las pruebas finales, excepto la velocidad máxima alcanzada no se logró igualar o superar a la planeada.

En cuanto a los factores de seguridad, el RPS y el eje delantero presentaron un factor mayor a 2, lo cual, aunque no es un factor muy grande, se considera que es seguro. Sin

embargo el factor del eje principal se obtuvo de 1.2, lo cual nos advierte que se debe modificar dicho eje.

Para futuros vehículos se considera que crear una estructura aún más liviana reforzando las áreas de los perfiles de fibra de vidrio, así como también cambiando varias piezas de acero por piezas de aluminio, como el eje trasero donde se encuentra el amortiguador y los pedales. Diseñar una estructura externa que permita reducir los esfuerzos en los ejes principales. Mejorar la dirección, reduciendo la deflexión de las llantas. Mejorar el sistema de ajuste del asiento, así como mejorar el diseño para optimizar el acceso al carro.

## **Referencias**

[1] <http://www.youtube.com/watch?v=S0YjrsfNK7Y>

[2] <http://www.youtube.com/watch?v=t5S-VOhCRz4>

[3] Trejo, C. La técnica del moldeo manual con fibra de vidrio. Segunda edición. México, (1984).

[4] Giachino, Joseph. Técnica y práctica de la soldadura, Editorial Reverté, Barcelona, España ( 2007).

[5] Soto, Francisco. Soldadura de acero inoxidable y aluminio. Editorial IC.

[6] Coca, Pedro. Manual del Aluminio. Editorial Reverté. España. (1992).

[7] NX (Unigraphics) Versión 7.5; paquete de software de diseño CAD/CAM/CAE. Siemens PLM Software.

[8] ANSYS Structural 14.0. Software de simulación puramente estructural.

[9] Norma ASTM D790 – 03 Estándar Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.

[10] Reglas ASME HPVC 2013 <https://www.asme.org/getmedia/71fb14d9-d0f3-4253-b095-5f0c0285c580/HPVC-East-West-Rules.aspx>