

# DISEÑO DE UNA BICICLETA RECLINADA CON ELEMENTOS DE ALTA FLEXIBILIDAD

LEDESMA NIETO JOSÉ ELÍAS (1), VIDAL LESSO AGUSTÍN (1), LEDESMA OROZCO ELÍAS. (1)

<sup>2</sup> [Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [elias.atherton@gmail.com](mailto:elias.atherton@gmail.com), [agustin.vidal@ugto.mx](mailto:agustin.vidal@ugto.mx), [elias@ugto.mx](mailto:elias@ugto.mx).

## Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar los esfuerzos estructurales de cada uno de los elementos que conforman el vehículo recumbente y así establecer dimensiones y materiales de construcción. Se realizó el análisis estructural utilizando el método de elemento finito y se consideraron 6 subsistemas en el vehículo, analizando cada uno de ellos. Las condiciones de frontera aplicadas, fueron obtenidas de acuerdo a análisis estáticos desarrollados, así como del reglamento establecido en la competencia Human Powered Vehicle Challenge.

Los resultados mostraron que en los subsistemas analizados, el esfuerzo máximo total fue de 198 MPa, con lo que obtenemos un factor de seguridad mínimo de 1.39 contra falla por cedencia.

Finalmente, a través de este trabajo fue posible aplicar el método del elemento finito para análisis de falla de cada uno de los componentes de un vehículo recumbente y optimizar el peso y resistencia de este.

## Abstract

The aim of this study was to determine the structural strength of each of the elements of the recumbent vehicle and establish dimensions and construction materials. The results showed that in the analyzed section, the maximum total strength was 198 MPa, so we get a safety factor of 1.39 against tensile yield strength. Finally, through this work it was possible to apply the finite element method for failure analysis of each of the components of a recumbent vehicle and maximize the weight and resistance of this one.

## Palabras Clave

Vehículo recumbente; Elemento Finito; Análisis estructural; Von Mises

## INTRODUCCIÓN

Un vehículo recumbente o bicicleta recumbente, es un medio de transporte de propulsión humana en el cuál la posición del usuario es más aerodinámica que en una bicicleta común como se observa en la **Fig. 1.1.**



FIG. 1.1: Diferencia de posiciones entre una bicicleta normal y una recumbente.

Estos vehículos son diseñados para alcanzar altas velocidades gracias a que tienen poca resistencia aerodinámica y gran eficiencia ergonómica.

Existen 2 tipos de vehículos recumbentes, de dos llantas y de tres llantas. Al tener menor rozamiento y ser más ligeros, los vehículos recumbentes de dos llantas han sobresalido en competencias y records de velocidad. Los vehículos recumbentes de 2 llantas tienen el problema de que no tienen una estructura, simplemente es un solo elemento el cual tiene que ser más robusto y esto hace que este tipo de vehículos sean más pesados.

Estudios previos han utilizado el método del elemento finito para analizar los esfuerzos provocados por la interacción del vehículo con el usuario y su trayectoria, entre ellos se puede mencionar los trabajos reportados por Carlos Alberto Bernal Martínez *et al.* [1], y José Antonio Flores Ortiz *et al.* [2].

En este trabajo se presenta un vehículo recumbente con una estructura en donde los elementos a flexión son sustituidos por cables de acero. Se realizó el análisis de cada componente por elemento finito y

se logró obtener un vehículo con una gran resistencia, pero a su vez ligero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la aplicación de las condiciones de frontera, de manera general, se consideró el peso del usuario, la carga que se generaba durante el frenado desde una velocidad de 30 km/h, choques laterales de acuerdo a las reglas del Human Powered Vehicle Challenge, que son cargas de 600 lb, las cuales se aplicaron el rollbar del vehículo.

Estos análisis se desarrollaron a través del uso de un paquete comercial de elemento finito. En este análisis se obtuvieron los efectos estructurales por las cargas anteriormente mencionadas, es decir, se determinaron desplazamientos y esfuerzos de von Mises, estos últimos fueron comparados con el esfuerzo a la cedencia del material para poder obtener el factor de seguridad de cada sección.

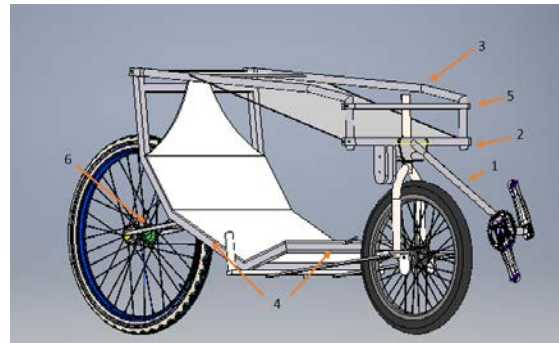


FIG. 2.1: Modelo de CAD del prototipo con cada una de sus partes: 1.-Tubo de transmisión, 2.-Apoyo de balero inferior, 3.- Rollbar, 4.- Cuadro Principal, 5.- Apoyo de balero superior y 6.- Horquilla trasera.

### Geometría.

El sistema completo, véase **Fig. 2.1**, fue dividido en las siguientes secciones:

- Tubo de transmisión.
- Apoyo de balero inferior.
- Rollbar.
- Cuadro Principal.
- Apoyo de balero superior.
- Horquilla trasera.

Los modelos de CAD de las piezas fueron creados por los autores de este artículo, basándose en el estado del arte y en el conocimiento experimental de diseño.

## Materiales.

Para el desarrollo del análisis estructural, el material considerado fue Aluminio 6061 T6. Se consideró un material isotrópico, lineal y elástico. Sus propiedades se muestran en la **Tabla 3.1**.

Tabla 3.1 Propiedades del Aluminio 6061 T6

Propiedad	Valor
Resistencia última a la tensión.	310 MPa
Resistencia a la cedencia	276 MPa
Módulo de elasticidad	68.9 GPa
Relación de Poisson	0.33

Para el análisis del cable de acero se consideró un acero AISI 12L14, asumiendo su comportamiento como isotrópico y lineal. Sus propiedades se muestran en la **Tabla 3.2**.

Tabla 3.2 Propiedades del Acero AISI 12L14

Propiedad	Valor
Resistencia última a la tensión.	540 MPa
Resistencia a la cedencia	415 MPa
Módulo de elasticidad	200 GPa
Relación de Poisson	0.29

## Mallado.

Para la discretización de los elementos se utilizaron los elementos finitos: Solid 186, este es un elemento definido por 20 nodos y 3 grados de libertad por nodo. Este elemento soporta

plasticidad, hiperelasticidad y grandes deformaciones.

Para trabajar con los cables se utilizó el elemento finito Link 180, es un elemento uniaxial de tensión-compresión con 3 grados de libertad por nodo. En este caso se usó para que trabajara solo a tensión y simulará correctamente el comportamiento del cable.

Para trabajar con los cables y no generar singularidades se usó una geometría de líneas con el elemento finito Beam 188, este elemento está basado en la teoría de la viga de Timoshenko que incluye efectos de deformación en cortante. Es un elemento lineal, cuadrático, o cúbico de dos nodos en 3-D, tiene 6 o 7 grados de libertad por nodo.

La **Fig. 4.4**, muestra la discretización del tubo de transmisión. Se consideraron un total de 27708 elementos y 51110 nodos, obtenidos a través de un proceso iterativo para la convergencia de la malla. Se muestra este elemento porque fue donde se obtuvo mayores esfuerzos, por lo tanto es la pieza más crítica del vehículo.

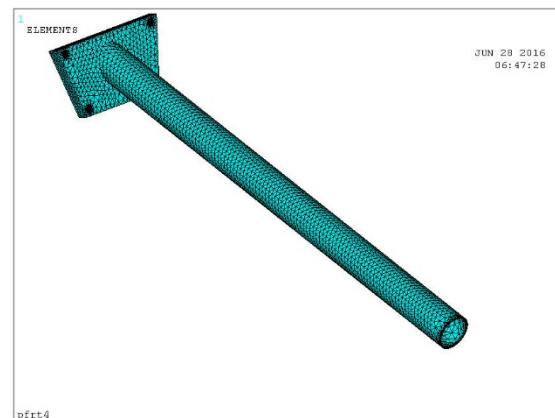


FIG. 4.4: Modelo mallado del tubo de transmisión.

## Condiciones de frontera.

En el caso del tubo de transmisión, se utilizó una fuerza de 900 N generada por el usuario al pedalear, se supuso que el usuario aplicaba todo su peso como un caso extremo. Y se restringió en los barrenos en todas las direcciones, véase **Fig. 5.1** y **Fig. 5.2**.

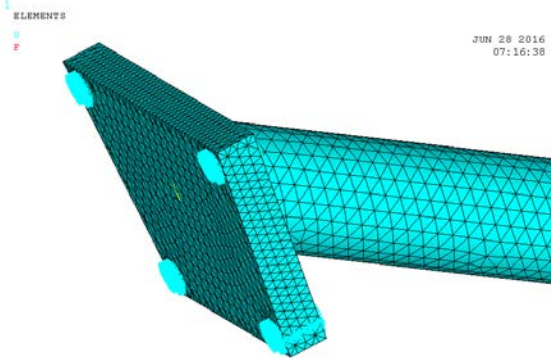


FIG. 5.1: Restricciones en todas las direcciones en los barrenos de sujeción.

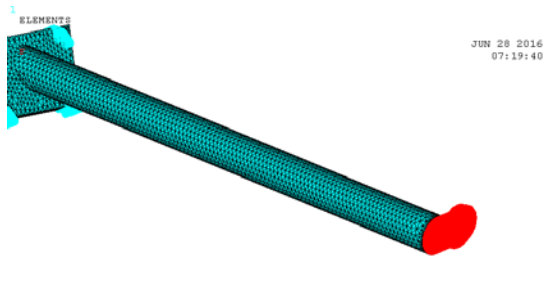


FIG. 5.2: Fuerzas aplicadas, distribuidas en cada uno de los nodos de la cara inferior.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los efectos estructurales debidos al peso del usuario de 900N y al efecto máximo de pedaleo de 900N también, se analizaron para cada pieza. Se obtuvieron esfuerzos máximos de Von Mises, desplazamientos de cada pieza y el factor de seguridad de acuerdo a la teoría de energía de distorsión o Von Mises [3]. Los resultados obtenidos para las piezas que están sometidas a mayor esfuerzo se presentan en las **Fig. 6.1** y **Fig. 6.2**.

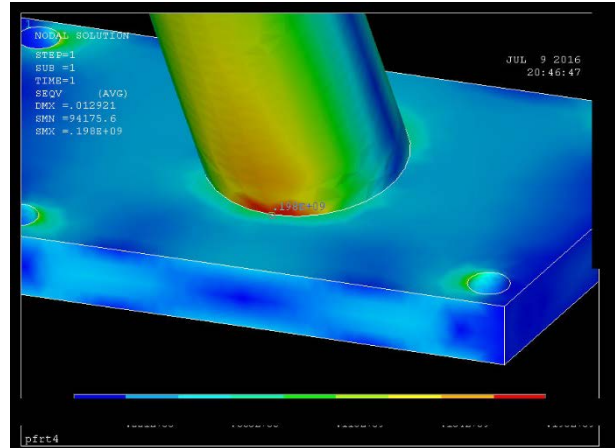


FIG. 6.1: Punto crítico del tubo de transmisión.

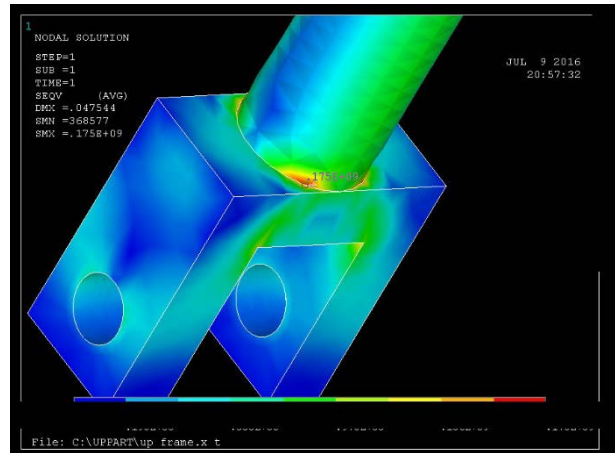


FIG. 6.2: Punto crítico del rollbar.

La metodología mostrada para análisis estructural del tubo de transmisión, fue utilizada para desarrollar el análisis de cada subsistema o sección. La **Tabla 6.1** resume los resultados encontrados para desplazamientos, esfuerzos y factores de seguridad para cada pieza.

Tabla 6.1 Resumen de resultados obtenidos del análisis estructural de cada pieza.

Pieza	Esfuerzo Von Mises máximo (MPa)	Desplazamiento máximo (mm)	Factor de seguridad mínimo.
Tubo de transmisión	198	12	1.39
Apoyo de balero inferior.	13.5	0.0761	20.44
Rollbar.	175	47.5	1.57
Cuadro Principal.	62.9	3.89	4.38
Apoyo de balero superior.	76.9	0.195	3.58
Horquilla trasera.	97.3	3.019	2.83

## CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que los esfuerzos máximos se presentan en el tubo de transmisión, teniendo un valor máximo de 198 MPa, estos valores están por debajo del esfuerzo de cedencia (276 MPa) del material con lo cual los factores de seguridad obtenidos en todos los casos fueron mayores a la unidad, teniendo como mínimo un valor de 1.39 correspondiente al tubo de transmisión.

En cuanto a los desplazamientos, no se observaron cantidades críticas y se obtuvo un valor máximo de 47.5 mm en el rollbar. Este no afecta al funcionamiento del ensamble total de las piezas.

Finalmente, a través de este trabajo fue posible aplicar el método del elemento finito para análisis de falla de cada uno de los componentes de un vehículo recumbente con elementos de alta flexión y generar ideas para optimizar el desempeño de este.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Guanajuato por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación y el desarrollo de tecnología a través de este proyecto.

## REFERENCIAS

- [1]Bernal, C. (2006). Diseño de un triciclo impulsado por energía humana (Tesis de licenciatura). Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México.
- [2]Flores, J. (2006). Análisis y simulación del desempeño dinámico de un triciclo movido por energía humana (Tesis de licenciatura). Universidad de Guanajuato, Guanajuato, México.
- [10] Budynas Richard G., Nisbett J. Keith. "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley", Mc Graw Hill, 9ª. Ed., 2012.