

# Optimización de sistemas mecánicos de vehículo eléctrico desarrollado en el ITSL con la creación de una aplicación móvil para la selección de equipo

Everardo Arroyo-Lopez<sup>1</sup>, Arturo Serrano-Hernandez<sup>1</sup>, Diego Roman-Landeros<sup>1</sup>.

**Resumen**—En el presente artículo se muestra el análisis de distintos sistemas mecánicos necesarios para la construcción de una plataforma de experimentación de un vehículo tipo go-kart, se diseñó en software CAD (Diseño asistido por computadora) el prototipo y una vez construido se analizó el funcionamiento de los sistemas y se obtuvieron datos como ángulos de giro de los brazos, resultados de la prueba antivuelco, entre otros, más adelante se realizó una aplicación de celular la cual sirve para la correcta selección del motor eléctrico y se muestra la interfaz y el código del desarrollo de la aplicación móvil adjuntando los cálculos manuales para la verificación del correcto funcionamiento de la app.

**Palabras claves**— Aplicación de celular, Diseño, Optimización, Sistemas mecánicos.

**Abstract**—This article shows the analysis of different mechanical systems necessary for the construction of an experimentation platform of a go-kart type vehicle, the prototype was designed in CAD software (Computer Aided Design) and once built the operation was analyzed. of the systems and data were obtained such as turning angles of the arms, results of the anti-tip test, among others, later a cell phone application was made which serves for the correct selection of the electric motor and the interface and the code are displayed of the development of the mobile application attaching the manual calculations for the verification of the correct operation of the app

**Keywords**— Design, Mechanical systems, Mobile application, Optimization.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas mecánicos son aquellos sistemas constituidos fundamentalmente por componentes, dispositivos o elementos que tienen como función específica transformar o transmitir el movimiento desde las fuentes que lo generan, al transformar distintos tipos de energía. (Lozano, 2015)

Dentro del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo se creó una plataforma de vehículo eléctrico monoplaza la cual cuenta con diferentes sistemas mecánicos, como lo son la suspensión, dirección, sistema de propulsión y sistema de frenado, dentro de los cuales se notaron áreas de mejora en el sistema de suspensión, dirección y la falta de los sistemas de

seguridad, además de que la selección del motor fue incorrecta lo cual hacía que el motor se encontrara al límite de su capacidad.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### A. Diseño

En la Figura 1, se muestra el diseño que se tomó del prototipo del vehículo eléctrico que se creó en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en el que participo la Subdirección de Investigación y Desarrollo tecnológico, el área de posgrado en la maestría de mecatrónica y la carrera de ingeniería de sistemas automotrices.

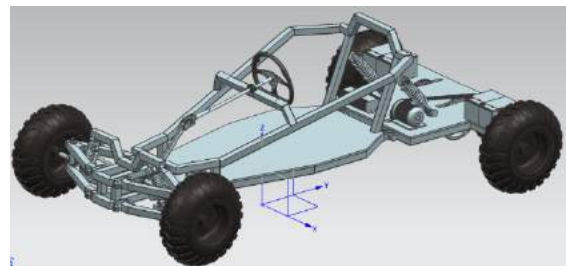


Figura 1 Vista isométrica del prototipo.

En la Figura 2, al notar las varias áreas de mejora, se hizo el diseño tomando en cuenta las áreas de oportunidad. Se muestra el diseño 3D para la optimización del prototipo, esto con la finalidad de mejorar el sistema de suspensión maximizando el rango de movimiento, una mayor estabilidad dentro del sistema de dirección y aumentar la seguridad del operario.

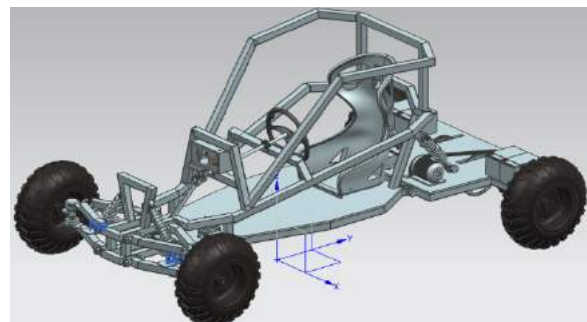


Figura 2 Vista isométrica del prototipo optimizado.

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Subdirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez, C.P. 35150, Lerdo, Durango, México.

**B. Sistema de dirección**

En los resultados del desplazamiento de la cremallera se obtuvo el siguiente valor:

$$d = \frac{15}{3} = 5 \text{ cm} \quad (1)$$

Y su velocidad de desplazamiento:

$$V = 120 \cdot \left(\frac{15}{3}\right) = 10 \text{ cm por segundo} \quad (2)$$

En la figura 3, se puede observar que para agregar estabilidad a la dirección se agregó una segunda chumacera, esto para disminuir los movimientos indeseados dentro de la misma.



figura 3 Segunda chumacera.

**Sistema de suspensión**

Como se muestra en la figura 4, anteriormente se contaba con una varilla roscada que sujetaba ambos brazos de la suspensión, esta varilla limitaba la movilidad de los brazos haciendo que la suspensión no hiciera bien su trabajo.



figura 6 Suspensión con varilla roscada.

Para Tener una mayor movilidad en los brazos de la suspensión se optaron por rehacer los mismos, pero ahora cambiando el diseño para insertar rotulas y mejorar la suspensión como se puede observar en la figura 5.



figura 4 Rotulas sistema de suspensión.

Para comprobar su eficacia se utilizó el software NX 10 de SIEMENS haciendo una simulación de los brazos en 2D para observar los ángulos permisibles que mejoraron al instalar las rotulas.

Como se puede observar en la Figura 6, su ángulo máximo permisible es de 180°.

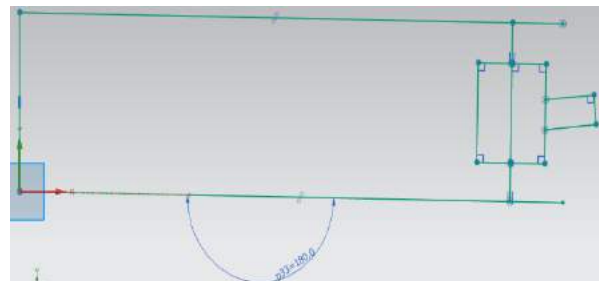


figura 5 Angulo máximo permisible sin rotulas.

En cambio, al observar la figura 7, se puede ver el cambio al instalar las rotulas el ángulo aumenta a 170°.

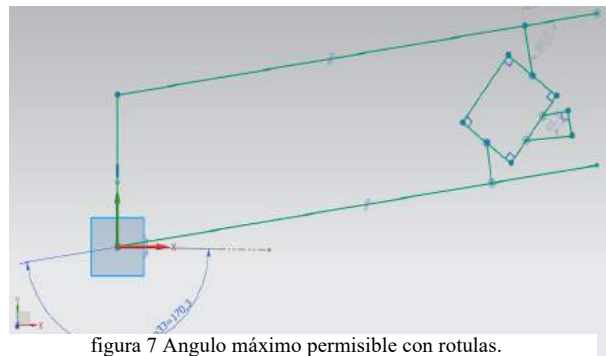


figura 7 Angulo máximo permisible con rotulas.

**C. Sistemas de seguridad (calculo antivuelco)**

Para la prueba de inclinación se coloca el vehículo sobre una plataforma y se lo inclina a 60 grados con respecto al piso, con lo cual se simula una aceleración lateral de 1.75g.

La prueba de inclinación permite garantizar la estabilidad del vehículo en curva, además permite realizar una nueva distribución de masas en caso del fallo de la misma, para ello

se realiza un diagrama de cuerpo libre seguido de un cálculo estático como se observa en la figura 8:

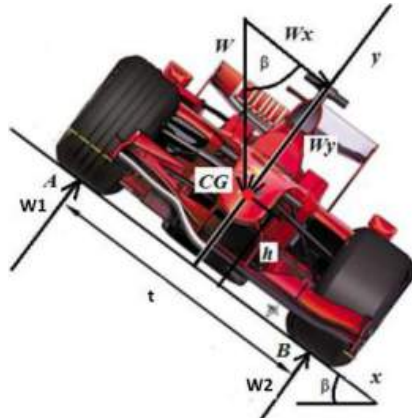


Figura 8 Análisis de cargas en prueba de inclinación.

En (3) se muestra la fórmula para saber si el vehículo pasara la prueba de inclinación.

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{t}{2 \cdot h}\right) \quad (3)$$

Tomando los valores del primer prototipo se tiene:

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{1007.7823}{2 \cdot 347.0029}\right) = 55.44^\circ \quad (4)$$

Este vehículo no pasa la prueba, debido a que se volcara a los 55° y el mínimo necesario son 60°.

Con el vehículo optimizado, con sus barras antivuelco y su dirección estable, se obtienen los siguientes valores:

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{1058.8322}{2 \cdot 252.8752}\right) = 64.46^\circ \quad (5)$$

Se verifica que el vehículo resiste los 64.46° antes de volcar, por lo cual se establece que el vehículo optimizado para la prueba satisfactoriamente.

#### D. Cálculo de motor

Para el ejemplo se tomará una velocidad de 15 km/h y un peso del vehículo de 170 Kg.

En (6) se consigue la aceleración del vehículo

$$a = \frac{15 \left(\frac{1000}{3600}\right)}{2} = 2.083 \frac{m}{s^2} \quad (6)$$

En (7) la fuerza de fricción:

$$F_r = 170 \cdot 9.81 \cdot 1 = 1667.7 \text{ N} \quad (7)$$

En (8) la fuerza de empuje:

$$F_e = 170 \cdot 2.083 = 354.166 \text{ N} \quad (8)$$

En (9) la fuerza total:

$$F_t = 1667.7 + 354.166 = 2021.866 \text{ N} \quad (9)$$

En (10) se consigue la potencia requerida al arranque:

$$P_r = \frac{2021.866 \cdot 15 \left(\frac{1000}{3600}\right)}{1000} = 8.34 \text{ KW} \quad (10)$$

Al realizar este cálculo dentro de la app, se puede observar en la Figura 9, que se muestra el mismo resultado que los cálculos teóricos.

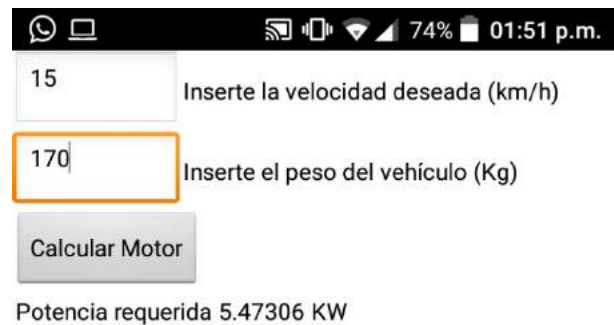


Figura 9 Cálculos realizados en app.

### III. RESULTADOS

En el sistema mecánico referente a la suspensión, se pudo observar que inicialmente los brazos tenían una movilidad de 5 grados, después de la modificación al diseño paso a tener un ángulo máximo de 10 grados de movilidad al instalar las rotulas, creando una mejora a la suspensión.

En los sistemas de seguridad, el prototipo antes de las mejoras no cumplía con la prueba de inclinación establecida por el Reglamento FSAE debido a que este se volcaba a los 55.44°, siendo que la norma establece que debería volcarse a un mínimo de 60°, en cambio, al poner las barras antivuelco y bajar el centro de gravedad, se obtuvo que el ángulo de vuelco es de 64.46° haciendo que este pasara la prueba satisfactoriamente.

Al agregar una segunda chumacera que sostuviera la flecha del volante, se pudo observar una mejora de estabilidad, pudiendo dejar la dirección sin ningún tipo de movimiento indeseado.

La aplicación dio exactamente el mismo valor que los cálculos hechos a mano, lo cual fue 5.4730 KW, anteriormente se contaba con un motor de 1.8 KW lo cual derivó en que el controlador se dañó debido a que el motor se forzaba, ahora se sabe que la selección del motor debe de ser con las capacidades que indica la aplicación.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Los tiempos para la correcta selección de un motor varían entre 1 a 3 días considerando que no se cuenta con información alguna que incluya formulas, además, se han de proponer datos de variables de entrada; realizando una serie de iteraciones eventualmente se llegaría a la selección correcta del motor. En cambio, con la aplicación desarrollada el proceso tarda solo 5 minutos, incluyendo el tiempo de adquisición de la misma; al seguir utilizando la aplicación para escoger otro motor para otro go-kart eléctrico esta eliminará el error humano y se escogerá el motor correcto el 100% de las veces.

Algunas de las recomendaciones para próximos alumnos a trabajar en este proyecto, serían:

- Conseguir un nuevo motor que esté de acuerdo al peso del vehículo.
- Reducir el peso total del vehículo ya sea quitando las placas del chasis o quitando el PTR innecesario.
- Instalar un cinturón de seguridad para reducir el riesgo del tripulante.
- Tener un proceso de mejora continua en el vehículo.
- Hacer compatible un panel solar, para que el vehículo sea aún más amigable con el medio ambiente.
- Agregar dentro de la app los cálculos para la selección de otros componentes mecánicos que puede llevar cualquier go-kart.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los Ingenieros Arturo Serrano y Diego Román que me dieron la oportunidad de participar en este proyecto, al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades brindadas para la construcción del prototipo del vehículo eléctrico de 4 ruedas; al prestar las instalaciones y brindar presupuesto.

#### VI. APÉNDICES

```

inicializar global Aceleracion_3 como 0
inicializar global metros_segundos como 0
inicializar global Fuerza_de_friccion como 0
inicializar global Kilo_newtons como 0
inicializar global Fuerza_total como 0
inicializar global Aceleracion como 0
inicializar global CampoDeTexto2 como 0
inicializar global Conversion como 0
inicializar global Potencia_requerida como 0
inicializar global CampoDeTexto1 como 0
    
```

figura 10 Código app parte 1.

```

cuando Botón1 -> Clic
ejecutar
  si
  entonces
    poner Etiqueta5 -> Texto -> como "La velocidad máxima permitida es de 30 km/h"
    poner Etiqueta4 -> Texto -> como " "
    poner Etiqueta3 -> Texto -> como "Error"
  sino
    poner global CampoDeTexto1 a CampoDeTexto1 -> Texto
    poner global CampoDeTexto2 a CampoDeTexto2 -> Texto
    poner global Conversion a tomar global CampoDeTexto1 * 1000
    poner global metros_segundos a tomar global Conversion / 3600
    poner global Aceleracion a tomar global metros_segundos / 2
    poner global Fuerza_de_friccion a tomar global CampoDeTexto2 * 9.81
    
```

figura 11 Código app parte 2.

```

poner global Aceleracion_3 a tomar global Aceleracion
poner global Fuerza_total a sumar global Fuerza_de_friccion + tomar global Aceleracion_3
poner global Potencia_requerida a tomar global Fuerza_total + tomar global metros_segundos
poner global Kilo_newtons a tomar global Potencia_requerida / 1000
poner Etiqueta4 -> Texto -> como " "
poner Etiqueta5 -> Texto -> como "kW"
poner Etiqueta3 -> Texto -> como "Potencia requerida"
    
```

Figura 12 Código app parte 3.

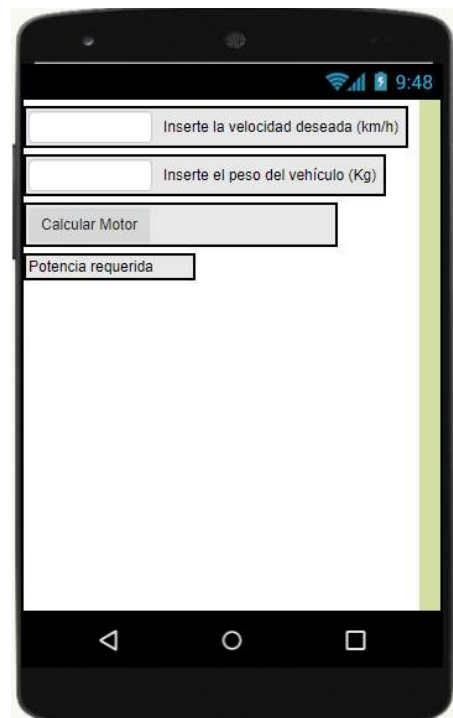


figura 13 App vista desde Appinventor.



figura 14 Icono de la app dentro de un celular.



figura 15 Vehículo con solo una chumacera.

VII. REFERENCIAS

[1] Arroyo López, E. R. (2020) *Desarrollo de la aplicación para la selección de motores eléctricos y optimización de los sistemas mecánicos de la plataforma de vehículo eléctrico en el ITSL* (Tesis de ingeniería). Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.

[2] Serrano Hernández, A. (2020) *Diseño e implementación de los distintos sistemas mecánicos para el funcionamiento de un vehículo eléctrico monoplaza* (Tesis de Maestría). Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.

[3] Bele, I., & Bocii, L. S. (2003). *La transformación de un vehículo eléctrico, con la regulación con VTC (variador de tensión continua), en un vehículo con inversor de frecuencia y motor eléctrico asíncrono.* (U. d. Antioquia, Ed.)

[4] Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (8vaed.)*. México D.F., México: McGraw-Hill.

[5] *Real Academia de Ingeniería.* (2017). *El almacenamiento de energía en la distribución eléctrica del futuro*. Madrid, España

[6] Yin, R. K. (2012). *Case study methods*. Thousand Oaks: Sage.

[7] Balsells, M. (2015). *Diseño eléctrico-electrónico de un kart eléctrico*. Barcelona, España: Univeritat Politècnica de Catalunya. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/77148>

[8] Mendez, A., & Cely, M. (2016). *Diseño del Sistema de Freno Regenerativo de Automóviles Híbridos*. (F. d. Escuela Politécnica Nacional, Ed.) *Revista Politécnica*, 3.

[9] Lozano, L. (2015). *Sistemas Mecánicos*. Disponible en: [https://es.slideshare.net/Luisa\\_regino/sistemas-mecnicos](https://es.slideshare.net/Luisa_regino/sistemas-mecnicos)

VIII. BIOGRAFÍA



**Arroyo López Everardo Rafael** nacido en Lerdo Durango el 7 de abril de 1998. Habiendo obtenido el título de ingeniero en sistemas automotrices por el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la ciudad de Lerdo, Durango, México en diciembre del 2020.

El actualmente labora en Industria Sigrama localizado en la ciudad de Torreón, Coahuila, México como Especialista en marcas dentro del área de distribuciones, durante la carrera participó en proyectos como becario, como lo fue la creación de una plataforma tecnológica flexible y adaptable para tratamiento de prendas de mezclilla de bajo impacto ambiental y laboral con la empresa Siete Leguas, y la creación de una maquina embotelladora con la empresa Elopak. Además, trabajó como asesor dando un curso de diseño 3D dentro del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, teniendo como temas de interés el diseño 3D, la electrónica y el ramo automotriz



**Arturo Serrano Hernández** nacido en Torreón Coah. Méx. El 21 de agosto de 1988. Habiendo obtenido el título de ingeniero mecánico con especialidad en diseño industrial por el Instituto Tecnológico de la Laguna en la ciudad de Torreón Coah. Méx en abril del 2012. Actualmente cursando la maestría en Planeación estratégica y dirección de tecnología en la Universidad Popular

Autónoma del Estado de Puebla ubicada en la ciudad de Puebla, Pue. Méx. El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo como Profesor Investigador en la Subdirección de Investigación y desarrollo Tecnológico como responsable del área de diseño, así como en el área de Electromecánica, en la ciudad de Lerdo, Dgo. Méx. Las líneas de investigación de interés son en relación la automatización de procesos industriales y a la mecatrónica. El Ing. Serrano perteneció a la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) en el 2010, tomó un diplomado en Tecnomatix, software de SIEMENS en la Universidad del Valle de Puebla, en la ciudad del Puebla, Pue. México a finales del 2013. Participo como coautor del artículo Ingeniería de Procesos Administrativos para la Mejora del Desempeño Organizacional: Caso de estudio, ponencia presentada en el congreso Internacional de Investigación Ciencias y Sustentabilidad de Academia Journals en la Univerisidad Veracruzana en la ciudad de Tuxpan, Veracruz.



**Diego Alberto Román Landeros** nacido en Gómez Palacio Durango el 9 de junio de 1990. Actualmente realiza un estudio de posgrado en Especialización en Ingeniería Mecatrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en la ciudad Lerdo Durango, México.

El actualmente trabaja en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo localizado en la ciudad de Lerdo Durango, México como Docente e investigador, teniendo como temas de interés el control electrónico de sistemas, la automatización y la mecatrónica en el ramo automotriz.