



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**Integración CAD de los componentes del sistema de dirección, frenos y  
transmisión de un vehículo eléctrico biplaza**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**Nombre de los autores:**

**Wilson Wilfrido Fajardo Tixi**

**Wilson Giovanni Vicuña Alvarez**

**Nombre del director:**

**Robert Rockwood I.**

**CUENCA – ECUADOR**

**2022**

## **Dedicatoria**

Este trabajo dedico principalmente a Dios por haber permitido llegar hasta este momento tan importante en mi vida. A la memoria de mi abuelita Dumi quien fue quién me guío y me llenó de amor y valores para poder terminar y cumplir este sueño. A mis padres y hermanos a pesar que la distancia física nos separa, siento que el amor y cariño nos unen mucho rompiendo esa barrera de la distancia, me han brindando el apoyo necesario para poder terminar este trabajo

*Wilson Vicuña*

**Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis hijos, a mi madre. A la memoria de mi esposa Martha B. Gracias por todo.

*Wilson Fajardo T.*

## **Agradecimiento**

Agradecemos a la universidad del Azuay por todas las facilidades brindadas para la obtención de nuestro título universitario, en especial al Ingeniero Robert Rockwood quien nos guió en el transcurso de la elaboración de este artículo

## Índice de Contenidos

Dedicatoria.....	II
Dedicatoria.....	III
Agradecimiento.....	IV
Índice de figuras.....	VI
Resumen.....	VIII
Abstract.....	IX
I. Introducción.....	1
II. Materiales y métodos.....	3
III. Resultados.....	8
IV. Conclusiones.....	10
V. Referencias.....	10

## Índice de figuras

Fig. 1. Modelo del vehículo eléctrico bi plaza diseñado y manufacturado. ....	3
Fig. 2. Captura de la configuración geométrica de las ruedas delanteras del vehículo eléctrico biplaza.....	4
Fig. 3. Ubicación de los soportes de la cremallera .....	4
Fig. 4. Pletinas que unen la cremallera con el chasis.....	4
Fig. 5. Ángulo de inclinación de las pletinas de soporte .....	5
Fig. 6. Disposición de vástago y tuerca de calibración sobre las pletinas .....	5
Fig. 7. Ángulos de referencia para la posición de los pies sobre los pedales .....	5
Fig. 8. Soporte del conjunto de freno con el chasis .....	5
Fig. 9. Disposición entre soportes de pedal y eje articulado.....	6
Fig. 10. Centrado del soporte de la dirección .....	6
Fig. 11. Pletinas del soporte de la columna de la dirección.....	6
Fig. 12. Freno de mano diseñado .....	6
Fig. 13. Pletina de soporte del freno de mano centrada.....	6
Fig. 14. Corrección de geometría del soporte .....	7
Fig. 15. Calidad de la malla .....	7
Fig. 16. Malla 3D.....	7
Fig. 17. Malla 3D segmentada.....	7
Fig. 18. Elementos Rígidos.....	7
Fig. 19. Creación de fuerzas .....	8
Fig. 20. Asignación de propiedad .....	8
Fig. 21. Esfuerzos en el soporte del acelerador .....	8
Fig. 22. Esfuerzos en el soporte de la cremallera (2.6MPa) .....	9
Fig. 23. Esfuerzos en el soporte pedal del freno (6.98 MPa).....	9
Fig. 24. Esfuerzos en el soporte de la columna de dirección (10.14 MPa).....	9
Fig. 25. Esfuerzos en el soporte de la columna de dirección (10.14 MPa).....	9
Fig. 26. Vista lateral del ensamble.....	9
Fig. 27. Vista en perspectiva del ensamble.....	9
Fig. 28. Vista superior del ensamble.....	9
Fig. 29. Vista frontal del ensamble .....	10

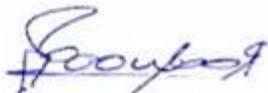
## **Indice de tablas**

TABLA I. PARAMETROS DE DISEÑO PARA LAS RUEDAS DEL VEHÍCULO .....	4
TABLA II. VALORES DE ÁNGULOS DE ALINEACIÓN DE LAS RUEDAS DELANTERAS .....	4
TABLA III. FUERZAS NORMALES EN LOS SOPORTES .....	8
TABLA IV. FUERZAS EN CADA PERNO .....	8
TABLA V. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL .....	8

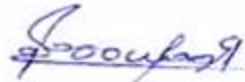
## INTEGRACIÓN CAD DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE DIRECCIÓN, FRENOS Y TRANSMISIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO BIPLAZA

**Resumen**—El presente estudio, realiza la integración CAD (Diseño Asistido por Computador) de los componentes del sistema de dirección, frenos y transmisión de un vehículo eléctrico biplaza. Para cumplir con este objetivo se inició con el diseño de la geometría, tomando como referencia los elementos de un vehículo Chok G2, los mismos que se utilizaron para equipar el prototipo diseñado y manufacturado en la carrera de ingeniería automotriz de la Universidad del Azuay. Se realizó un estudio numérico computacional; en primer lugar, con elementos 2D para identificar posibles colisiones de los elementos de la dirección con el chasis, una vez que se verificó que no hay interferencias se procedió a diseñar los elementos de sujeción y la verificación de prestaciones mecánicas utilizando elementos 3D. Entre los principales resultados obtenidos, se pudo verificar que los elementos diseñados resisten las cargas a las que van a estar expuestas y cumplen con las funciones para las que fueron diseñados.

**Palabras clave**—*Integración CAD, Diseño Vehículo eléctrico, Diseño componentes dirección y frenos.*



Ing. Robert Rockwood Msc.  
Director del trabajo de Titulación



Ing. Robert Rockwood Msc.  
Director de Escuela



Wilson Wifredo Fajardo Tixi  
Autor

Wilson Vicuña

Wilson Giovanni Vicuña Álvarez  
Autor

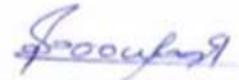
**CAD INTEGRATION OF THE COMPONENTS OF THE STEERING, BRAKES  
AND TRANSMISSION SYSTEM OF A TWO-SEATER ELECTRIC VEHICLE**

*Abstract*— This study performed the CAD (Computer Aided Design) integration of the components of the steering, brakes and transmission system of a two-seater electric vehicle. To meet this objective, we started with the design of the initial geometry, which was based on the dimensions and physical arrangements of a pre-designed vehicle based on the Chok G2 with a new chassis developed at the University of Azuay. We proceeded to design the 2D mesh to identify possible collisions within the chassis. Once it was verified that there were no interferences, we proceeded with a 3D meshing that allowed us to give properties to the elements to perform the respective resistance analysis. Among the main results obtained, it was possible to verify that the designed elements do resist the loads to which they will be exposed inside the vehicle and that they comply with the function for which they were designed.

*Key words*—CAD, Electric car, Design, Modeling.



Ing. Robert Rockwood Msc.  
**Director del trabajo de Titulacion**



Ing. Robert Rockwood Msc.  
**Director de Escuela**

Translated by



Wilson Wilfrido Fajardo Tixi  
**Autor**



Wilson Giovanni Vicuña Álvarez  
**Autor**



# Integración CAD de los componentes del sistema de dirección, frenos y transmisión de un vehículo eléctrico biplaza

Wilson Wilfrido Fajardo Tixi  
Universidad del Azuay  
Facultad de Ciencia y Tecnología Ingeniería Mecánica  
Automotriz  
Cuenca, Ecuador  
[wilfridotixi@es.uazuay.edu.ec](mailto:wilfridotixi@es.uazuay.edu.ec)

Wilson Giovanni Vicuña Álvarez  
Universidad del Azuay  
Facultad de Ciencia y Tecnología Ingeniería Mecánica  
Automotriz  
Cuenca, Ecuador  
[vicoalv@es.uazuay.edu.ec](mailto:vicoalv@es.uazuay.edu.ec)

**Resumen**—El presente estudio, realiza la integración CAD (Diseño Asistido por Computador) de los componentes del sistema de dirección, frenos y transmisión de un vehículo eléctrico biplaza. Para cumplir con este objetivo se inició con el diseño de la geometría, tomando como referencia los elementos de un vehículo Chok G2, los mismos que se utilizaron para equipar el prototipo diseñado y manufacturado en la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay. Se realizó un estudio numérico computacional; en primer lugar, con elementos 2D para identificar posibles colisiones de los elementos de la dirección con el chasis, una vez que se verificó que no hay interferencias se procedió a diseñar los elementos de sujeción y la verificación de prestaciones mecánicas utilizando elementos 3D. Entre los principales resultados obtenidos, se pudo verificar que los elementos diseñados resisten las cargas a las que van a estar expuestas y cumplen con las funciones para las que fueron diseñados.

**Palabras clave**—*Integración CAD, Diseño Vehículo eléctrico, Diseño componentes dirección y frenos.*

**Abstract**— This study performs the CAD (Computer Aided Design) integration of the components of the steering, brakes and transmission system of a two-seater electric vehicle. To meet this objective, we started with the design of the initial geometry, which began, taking as reference the elements of a Chok G2 vehicle, the same ones that were used to equip the prototype designed and manufactured in the automotive engineering career at the University of Azuay . We proceeded to design the 2D mesh to identify possible collisions within the chassis, once it was verified that there are no interferences, we proceeded with a 3D meshing that allowed us to give properties to the elements to perform the respective resistance analysis. Among the main results obtained, it was possible to verify that the designed elements do resist the loads to which they will be exposed and they comply with the function for which they were designed.

**Key words**— *CAD integration, electric vehicle design, design of steering and brake components.*

## I. Introducción

En la actualidad, los programas de Diseño Asistido por Computador (CAD) se utilizan en la industria automotriz, como base de los procesos de ingeniería y manufactura de una gran cantidad de componentes, estos permiten optimizar los procesos en cada fase y controlar de mejor manera las tolerancias de manufactura, mejorando significativamente los costos de desarrollo y producción [1].

Asimismo, la integración de los programas CAD con los sistemas de Ingeniería Asistida por Computador (CAE) han aprovechado las ventajas del modelado digital para simular con precisión el rendimiento mecánico de los elementos ante diferentes condiciones de funcionamiento, y garantizar sus prestaciones previo a su manufactura. [2].

Según los aportes realizado por Shuai [3] los sistemas CAD integrados con los CAE han permitido incrementar el ahorro de tiempo durante el diseño de las piezas, pues los ingenieros involucrados en la creación de nuevos vehículos y sistemas automotrices pueden predecir prestaciones mecánicas, la resistencia que tendrán durante su utilización, las posibles deformaciones ante las cargas a las que estarán expuestas y mejorarlos antes de pasar a la etapa de prototipado y construcción.

Respecto a la generación CAD, Erazo [4] menciona que las partes de vehículos amerita de una gran precisión y de un apropiado diseño que no solo cumpla con los requerimientos funcionales, sino que además sean resistentes y su producción sea económica. De tal manera que, para concebir las piezas primero se realiza su diseño asistido por computador, que consiste en el empleo de programas informáticos para realizar la conceptualización o la representación gráfica de la pieza tanto bidimensional como tridimensionalmente [2].

También, el diseño por computador permite realizar cambios o ajustes, efectuar análisis para afinar el diseño e incluso poder realizar algunas evaluaciones o simulaciones previas, que facilitarán la generación de un prototipo que luego de ciertas pruebas pasaría a ser producido para comercializarse o suministrar a las empresas ensambladoras de vehículos, [5].

Además, a través del CAD se pueden diseñar cualquier parte de un vehículo, independiente de si este es proyectado a trabajar en vehículos con motores de combustión, eléctricos, o híbridos [6]. Lo que es relevante, es que el uso de estos recursos de apoyo al diseño permite concebir partes con una mayor certidumbre, rapidez y tomando en cuenta elementos de resistencia y economía [7]. Actualmente, existen diversas tecnologías informáticas las cuales son una herramienta fundamental en cualquier área donde desarrolle actividades un profesional. En este sentido, el CAD, consiste en un grupo de herramientas informáticas utilizadas por un especialista con la finalidad de diseñar modelos de piezas en 3D, realizar montajes de conjuntos para posteriormente obtener planos [8].

Sin embargo el desarrollo y fabricación de estos vehículos con el uso de CAD y CAM solo se han visto potenciados en países con un alto grado de industrialización automotriz como Estados Unidos, China, Alemania, Corea del sur, Japón o incluso España que llevan las directrices de esta nueva industria en el mundo [9]. Por otro lado, en cuanto al diseño y fabricación de vehículos en países menos desarrollados como los pertenecientes a Latinoamérica el panorama es menos alentador ya que no se conoce una industria lo suficientemente reconocida que fabriquen estos equipos a nivel local de forma comercial y competitiva con las grandes industrias [10].

Según los aportes de Bravo [11] en Ecuador no se ha realizado proyectos de diseño y fabricación de vehículos con una ingeniería propia. Esta realidad, causa que Ecuador no participe de manera activa en esta industria y sea un mero consumidor de estas tecnologías teniendo que importar tanto: vehículos, repuestos, insumos, infraestructura para el ensamble e incluso mano de obra para los equipos más sofisticados. Evidentemente, esta realidad, causa un estancamiento en el desarrollo de las técnicas de diseño automotriz de los ecuatorianos, pues la capacitación local se enfoca más en adaptarse a la tecnología importada que en desarrollar una tecnología propia [12].

La Industria Automotriz (IA) es una de las que mayor crecimiento económico tiene a nivel mundial, esto debido a la enorme expansión y desarrollo económico de la población y la reducción de los costes de fabricación [13]. Tan solo en 2019 la IA reportaron utilidades de más de 785.400 millones de dólares en ese mismo año con activos que superan los 16 billones de dólares y una carga de personal en las principales industrias de

más de 42.000 personas activas, sin contar los subcontratos o las actividades anexas relacionadas con esta industria [14].

Por otro lado, la IA es considerado como un verdadero dinamizador de las economías de los países del mundo ya que sus actividades y uso de productos generan millones de empleos en todos los estratos sociales de los países, ya sea como: comercializadores de partes, técnicos de reparación e instalación de equipos, importadores de vehículos, vendedores de segunda mano, comerciantes de complementos e insumos para automotores, entre otros [15]. Asimismo, los gobiernos, también dinamizan la economía a través de la aplicación de impuestos, tanto para obtención de permisos para conducir, los procesos de matriculación, multas de tránsito, creación de departamentos que contratan personal para gestionar el tránsito vehicular y muchas actividades que generan empleos a diferentes niveles [16].

Por todo lo anteriormente mencionado, la presente investigación pretende realizar un aporte al conocimiento general del diseño de vehículos mediante la integración de sistemas CAD y CAE en el contexto ecuatoriano. Se pretende demostrar que, si es posible realizar nuevos diseños de componentes automotrices, y generar valor agregado en los componentes de manufactura nacional.

Este proyecto, parte desde una iniciativa presentada por la escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay (UDA) y consiste en el diseño, y fabricación de un vehículo eléctrico Bi-plaza, el cual, se plasmó en varios trabajos de titulación que involucraron a los estudiantes de último ciclo quienes han trabajado de manera colaborativa para diseñar, fabricar, e integrar todos los sistemas y elementos necesarios para la conformación del automotor.

En este documento se plantea el objetivo principal de Elaborar un modelo CAD para ensamblar los elementos del sistema de dirección, frenos, y transmisión de un vehículo eléctrico bi-plaza, además diseñar los soportes necesarios. Para cumplir con esto, se inicia con un modelado y ensamble en un programa CAD 3D los diferentes elementos que conforman los sistemas de dirección, frenos y transmisión de un vehículo eléctrico biplaza, así como las partes que permitirán, su acople con el chasis. Seguidamente, se verifica en un programa CAD 3D que no exista interferencia mecánica entre los diferentes elementos de los sistemas de dirección, frenos y transmisión.

Del mismo modo, para realizar el diseño y manufactura de estos componentes, se procedió a realizar una revisión de la literatura existente sobre trabajos relacionados con la temática y problemática expuesta en el presente proyecto; mismos que poseen condiciones y aspectos resaltantes que sirven de apoyo a la actual investigación, entre los que se encuentran:

La investigación de Pardo [17] denominado: “Diseño del sistema de transmisión de potencia a las ruedas para un vehículo

tipo formula SAE con motor eléctrico” realizado en Cuenca en el año del 2016, tiene como objetivo principal de la investigación es el diseño de un sistema de transmisión. la metodología empleada fue la del diseño concurrente partiendo de una búsqueda bibliográfica, reconocimiento de la necesidad y generación de especificaciones técnicas, diseño de detalle y materialización, y finalmente un protocolo de pruebas. los resultados obtenidos fueron: la transmisión de potencia al eje delantero se hace con cadenas mientras que para el eje trasero es necesario un mecanismo diferencial. los ejes deben ser fabricados con acero SAE 4340 mientras el bastidor puede ser fabricado con aluminio 7075-t6.

El documento de Rivera [18] denominado: “aplicación de la ingeniería inversa en obtener la geometría del sistema cono y corona para la generación del código ISO y su modelamiento de manufactura aplicado a vehículos pick up en Riobamba en el año 2021, tiene el objetivo de determinar la geometría y el proceso de fabricación del cono y corona de un sistema de transmisión. la metodología empleada fue ingeniería inversa para lo cual se empleó un escaneo 3d de los elementos, seguido de una reconstrucción en un software CAD/CAM. la selección de materiales y definición de la geometría se la realizó por medio de una simulación en el programa Ansys. finalmente, el proceso de manufactura y código “G” fue obtenido utilizando el programa solid cam. los resultados obtenidos en la simulación arrojaron que una configuración de ángulos cono-corona de 10°-35° es la óptima y el acero AISI 4140 es el ideal para la fabricación. los procesos de manufactura requeridos son: torneado y fresado CNC.

La investigación de Cadena [19] denominada: “instalación de un motor eléctrico para propulsión de un vehículo y acople a su sistema de transmisión” realizada en Cuenca, tiene el objetivo principal de implementar un motor eléctrico a un vehículo de combustión interna. para cumplir este objetivo fue empleada una metodología comprendida por 5 etapas: consideraciones para dimensionamiento y selección de componentes, preparación mecánica del vehículo, instalación de componentes, y etapa de pruebas y ajustes.

Como resultados se obtuvo que la velocidad máxima a la que puede circular el vehículo es de 53 km/h mientras que la máxima distancia recorrida fue de 11 km consumiendo un 40% de la batería y el recorrido total fue de 26 km restando un 15% de carga. entre las conclusiones más importantes se tiene que es favorable trabajar con la transmisión original pues permite aprovechar al máximo la capacidad de la batería debido a que se puede generar movimiento estando en primera marcha.

Finalmente Barahona [20] realiza un análisis de la factibilidad técnica y ambiental de los autos eléctricos en Quito en año de 2017, cuyo objetivo principal es el análisis de la

comercialización y producción parcial de vehículos eléctricos en el Ecuador. Para lograr cumplir con este objetivo el autor empleó una metodología inductiva partiendo de un análisis de la situación de actual del parque automotor de combustión interna, su producción y mercado para una posterior comparación con el parque automotor eléctrico y su potencial. A su vez, analizó marcas comerciales, tipos de autos, técnicas de fabricación y producción, partes del auto eléctrico y la situación actual de proveedores, fabricantes nacionales y fuentes de energía. dentro de los resultados obtenidos se tiene que la cantidad de energía generada en el país con todas las formas de energía renovable es de 24,307 GWh siendo suficiente para alimentar a vehículos eléctricos por un año. sin embargo, existe un bajo nivel de capacitación para mantenimiento, fabricación y ensamble de este tipo de vehículos.

## II. Materiales y métodos

El modelo del vehículo que se diseñó y manufacturó, es un vehículo eléctrico Bi-plaza , a continuación, en la Fig. 1 se muestra el modelo que fue referenciado en la investigación presentada por Rivera B y Uyaguari C [21]:



Fig. 1. Modelo del vehículo eléctrico bi plaza diseñado y manufacturado.

### A) Geometría de las ruedas

Antes de iniciar con el modelado de los soportes, es necesario empezar definiendo la geometría de las ruedas, pues a partir de la posición de las mismas deben ir dispuestas todo el sistema de dirección y por ende los soportes para los elementos. Para esto, se utilizó la investigación presentada por Rodríguez y Patiño, autores del trabajo: “Integración CAD/CAE y análisis metrológico de los componentes del sistema de suspensión de un vehículo eléctrico biplaza” quienes forman parte del equipo de diseño y análisis de este vehículo. La imagen de las pruebas realizadas por los autores anteriormente mencionado se presenta a continuación en la Fig. 2.

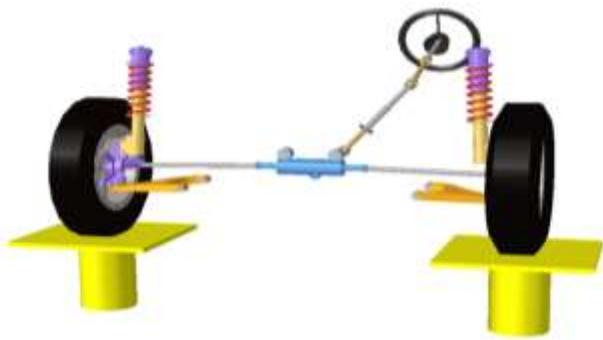


Fig. 2. Captura de la configuración geométrica de las ruedas delanteras del vehículo eléctrico bipulza.

En este trabajo se definen y especifican todos los ángulos de ruedas, y su variación al presentarse el movimiento de las ruedas, los mismos que sirven como punto de partida de este proyecto.

Del mismo modo se presenta a continuación en la Tabla I los parámetros de diseño que fueron implementados, mientras que en la Tabla II los valores de los ángulos de alineación de las ruedas delanteras.

TABLA I. PARAMETROS DE DISEÑO PARA LAS RUEDAS DEL VEHÍCULO

Parámetros	Datos
Distancia entre ejes (batalla)	2301.63 mm
Distancia entre ruedas (ancho de vía)	1458.8 mm
Centro de gravedad respecto al piso (eje z)	404.98 mm
Masa suspendida	725 kg
Ángulo de inclinación de rueda	320°

TABLA II. DESPLAZAMIENTO ANGULAR DE LAS COTAS REFERENCIALES DE LAS RUEDAS DELANTERAS

Tiempo	Desplazamiento vertical rueda [mm]	Toe [°]	Camber [°]	Caster [°]
0	0	-0.02	-0.02	2.54
0.5	24.72	-0.07	-0.21	2.65
1	47.02	0.18	-0.21	2.76
1.5	64.72	0.55	-0.07	2.85
2	76.08	0.87	0.09	2.91
2.5	80	0.99	0.16	2.93
3	76.08	0.87	0.09	2.91
3.5	64.72	0.55	-0.07	2.85
4	47.02	0.18	-0.21	2.76
4.5	24.72	-0.07	-0.21	2.65
5	0	-0.02	-0.02	2.54
5.5	-3.09	0.01	0.02	2.53
6	-5.88	0.04	0.06	2.52
6.5	-8.90	0.07	0.08	2.51
7	-9.51	0.09	0.1	2.5
7.5	-10	0.1	0.11	2.5

Luego de establecer la posición de las ruedas, se define el modelado de la cremallera, se inició eligiendo la posición de los soportes, que en este caso como se puede observar en la Fig. 3 están sobre dos tubos transversales al soporte superior delantero del chasis.

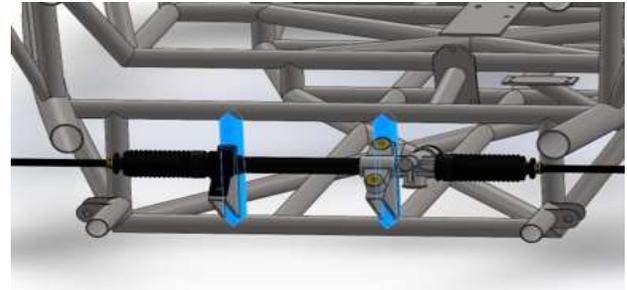


Fig. 3. Ubicación de los soportes de la cremallera

### B) Diseño de soporte de la cremallera

Del mismo modo, con la finalidad de que los soportes tengan una coherencia estructural uniforme durante toda su construcción, se utilizó la misma medida del perfil estructural para los soportes, es decir, un perfil SCH40 de 1 ½ pulgadas. Otra ventaja de usar este perfil estructural, es que su geometría circular, agregan una mayor resistencia que una pletina y la longitud del cordón de suelda se incrementa, dando una mayor resistencia a la sujeción.

Una vez que se diseñaron y acoplaron los soportes, se procede a añadir unas pletinas de forma triangular, que sirvan de soporte para que se asiente la cremallera de dirección del vehículo por medio de 4 tornillos de sujeción. Lo mencionado se presenta a continuación en la Fig. 4.

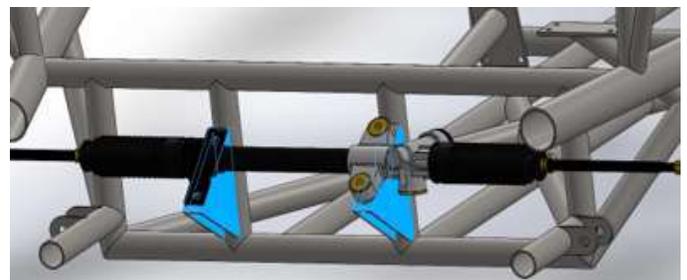


Fig. 4. Pletinas que unen la cremallera con el chasis

Las pletinas del soporte de la cremallera tienen un ángulo de 52 ° con respecto a al eje, el ángulo provisto, tiene la intención que el vástago que sale de la cremallera pueda extenderse sin que interfiera con ningún tubo del chasis y la tuerca de calibración de la cremallera apunte hacia el piso. A continuación, se presentan en las Fig. 5 y Fig. 6 el ángulo de inclinación de las pletinas respecto al tubo transversal del chasis y la disposición final del vástago y tuerca de calibración respectivamente.

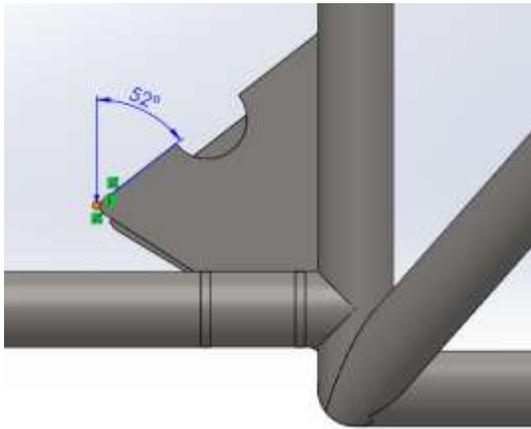


Fig. 5. Ángulo de inclinación de las pletinas de soporte

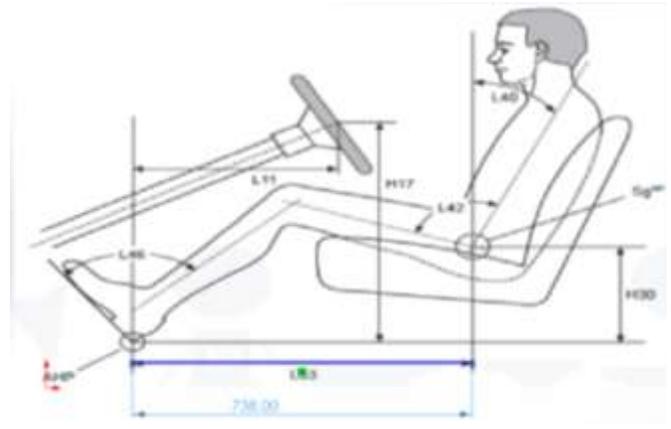


Fig. 7. Ángulos de referencia para la posición de los pies sobre los pedales

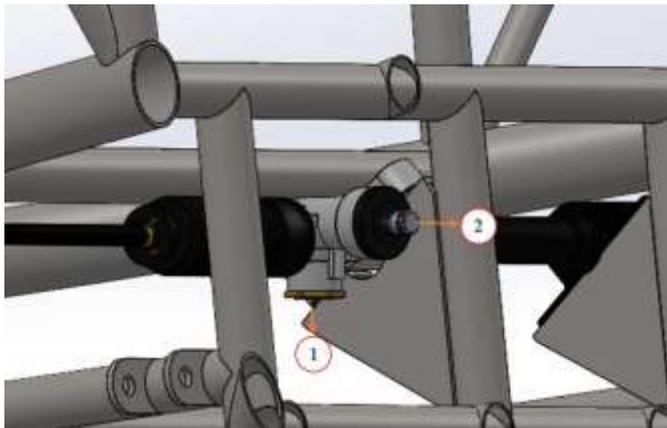


Fig. 6. Disposición de vástago y tuerca de calibración sobre las pletinas  
(1) vástago (2) tuerca de calibración

### C) Diseño del soporte del pedal del freno y acelerador

Antes de iniciar con el modelado del soporte del pedal del freno y acelerador, se tuvo que considerar la disposición de la columna de dirección ya que estos elementos intervienen directamente en el giro del volante y en la disposición física de los demás elementos. Asimismo, es necesario que el volante esté colocado correctamente pues, de no ser así puede afectar las órdenes del conductor, u obstaculizar su campo de visión.

Para el modelado del soporte del pedal del freno y acelerador se inició tomando algunas referencias sobre la disposición del pasajero en el vehículo y la posición del pie respecto a los dos pedales. Para este caso, la tesis denominada: “Diseño del carenado de un vehículo eléctrico biplaza” [21] ya realizó este análisis para el mismo vehículo y las medidas se presentan a continuación en la Fig. 7.

Con las medidas referenciales presentadas se continuó con el diseño en 3D del soporte, para el cual, se utilizaron las mismas medidas de los tubos del chasis para mantener la coherencia estructural y dar una mayor estabilidad a todo el sistema. Es decir, se usó un tubo SCH 40 de 1” de diámetro. Lo mencionado se presenta a continuación en la Fig. 8.

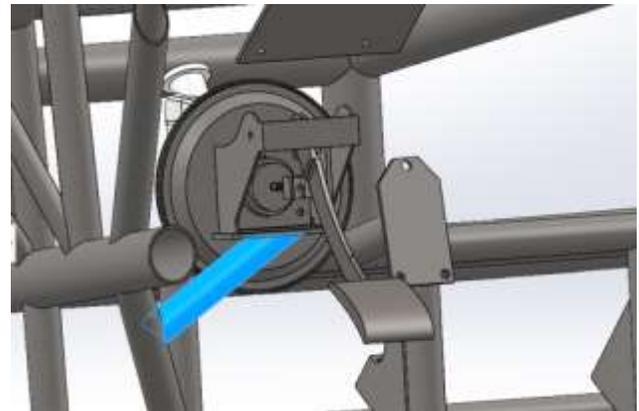


Fig. 8. Soporte del conjunto de freno con el chasis

Del mismo modo, el soporte del pedal, tanto del freno como del acelerador deben asegurar que exista el espacio suficiente para que el eje articulado que une la columna de la dirección con la cremallera no tenga ninguna interferencia ni choque con ningún tubo. Por lo tanto, se realizaron pruebas de diseño con ensambles que aseguren que ninguno de estos elementos choque entre sí. La disposición de los elementos se presenta a continuación en la Fig. 9.

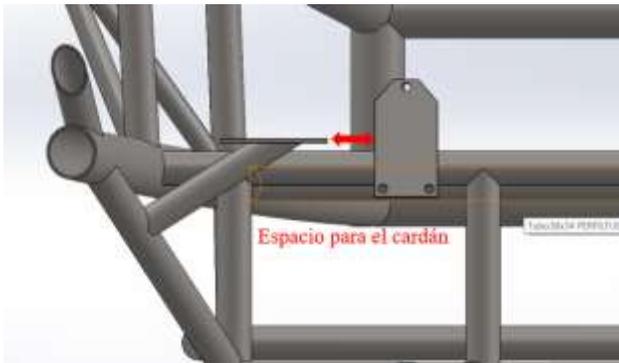


Fig. 9. Disposición entre soportes de pedal y eje articulado.

#### D) Diseño del soporte de dirección

Para el diseño del soporte de dirección se realizaron algunas consideraciones previas como: el volante de dirección debe estar centrado con la posición del asiento del conductor para dar simetría a todos los elementos y mantener los estándares constructivos generales de los vehículos, ver Fig. 10. También, por la forma del soporte y la disposición de los elementos adjuntos, no se utilizaron tubos para la construcción y se procedió a usar pletinas de 6 mm de espesor, ver Fig. 11.

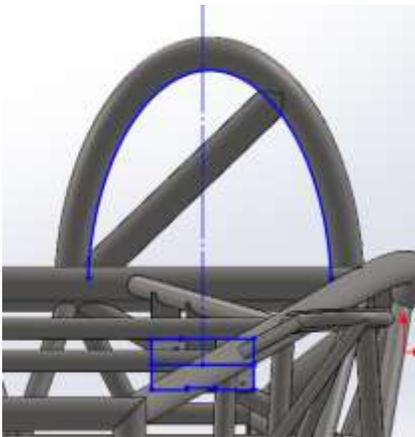


Fig. 10. Centrado del soporte de la dirección

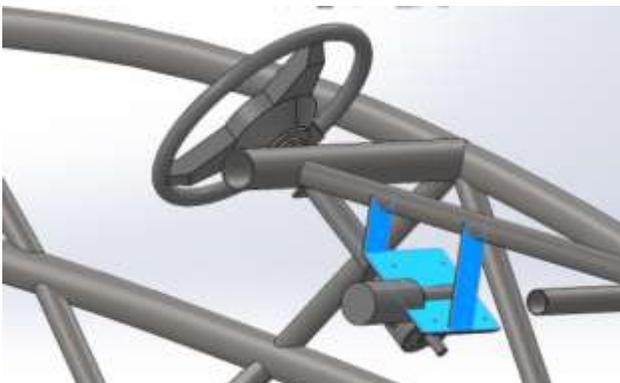


Fig. 11. Pletinas del soporte de la columna de la dirección

Al igual que las consideraciones de diseño de los soportes anteriores, se tuvo que asegurar que el soporte del freno de mano esté completamente centrado dentro del habitáculo del vehículo. Para esto, se tomó de referencia el tubo transversal donde van asentados los asientos como se observa en la Fig. 12 y se colocó una pletina, en la cual se asentará el mecanismo de palanca. El modelado del elemento se presenta a continuación en la figura 13.



Fig. 12. Freno de mano diseñado

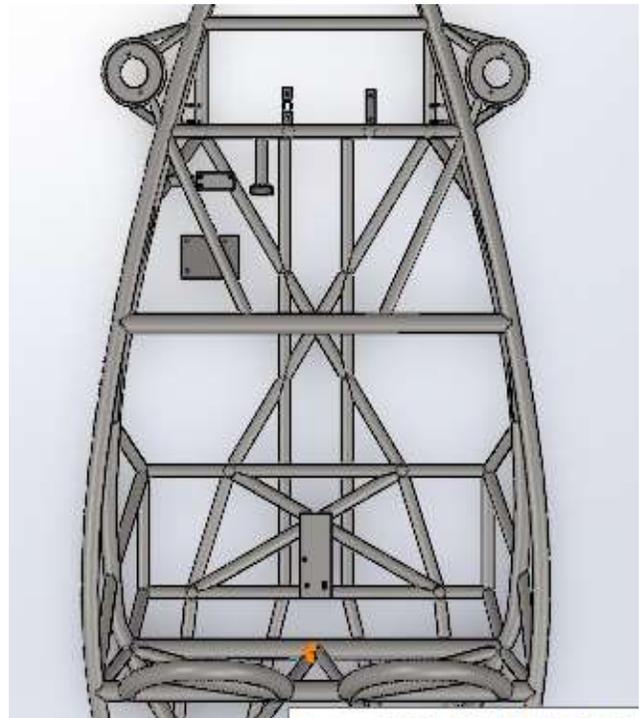


Fig. 13. Pletina de soporte del freno de mano centrada

A continuación, se presenta el proceso realizado para el análisis CAE de elementos estructurales. Para esto se divide en 5 partes: Corrección de la geometría, Creación de malla 2D, Creación de rígidos, Apoyos y fuerzas, Creación del material, Asignación de propiedades, y análisis de soportes.

### A) Corrección de geometría

Se importa la geometría y se eliminan todos los sólidos para obtener solo superficies ya que se mallará primeramente con elementos 2D (Fig. 14)

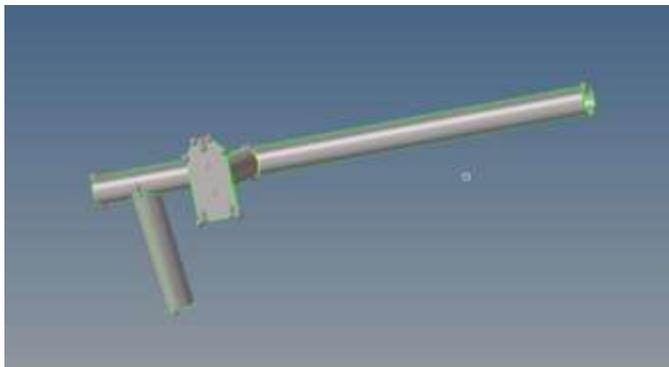


Fig. 14. Corrección de geometría del soporte

### B) Creación de malla en 2D

Para este proceso, se inicia con la generación de una malla a través de la herramienta: “batchmesh” con una mallado de elementos de 5mm. Seguidamente, se verifica la calidad de la malla. Como se puede ver en la Fig. 15 no se tienen elementos amorfos o distorsionados, se asume que la calidad de la malla es la ideal y se puede proseguir a mallar en 3D.

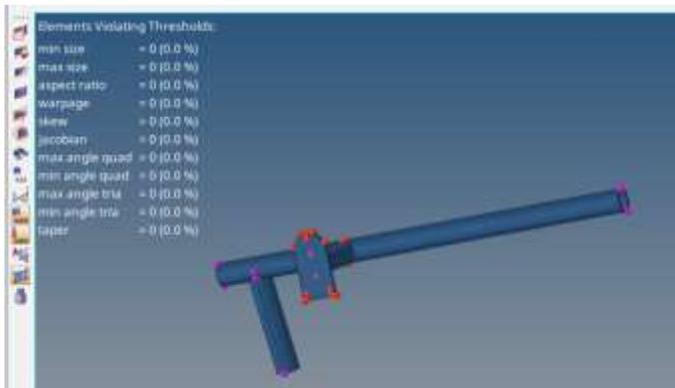


Fig. 15. Calidad de la malla

Comp. QI = 154.00

# Failed = 0.0

### C) Creación de malla en 3D

Para la creación de la malla 3D se utiliza la función: “Tetramesh” para seleccionar los elementos y proceder con el mallado, el resultado de este proceso se presenta a continuación en la Fig. 16 y Fig. 17.



Fig. 16. Malla 3D con elementos prismáticos

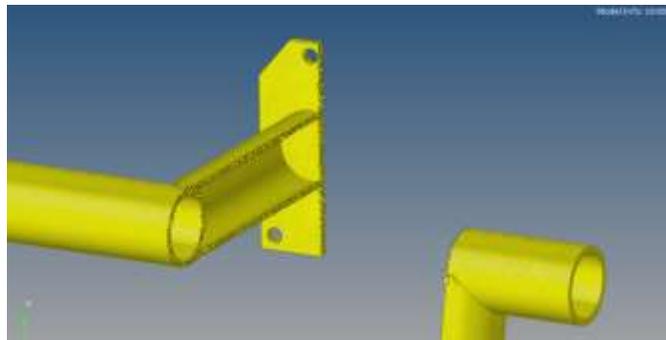


Fig. 17. Malla 3D segmentada

### D) Creación de rígidos

Los elementos rígidos permiten transmitir de forma uniforme las cargas o los apoyos de los componentes mecánicos sin pérdidas, son ideales para representar elementos como: bujes, pernos de sujeción, etc. Una muestra de ellos se presenta a continuación en la Fig. 18.

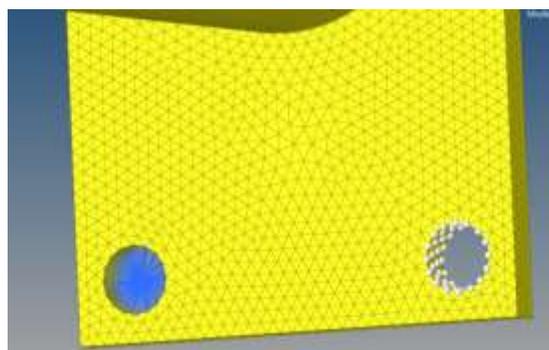


Fig. 18. Elementos Rígidos

### E) Apoyos y fuerzas

Para crear las fuerzas, primero se calcula los pesos de los componentes, los pesos se obtienen por medición directa o por ajuste de densidades en un programa CAD. Asimismo, se calcula la fuerza normal al multiplicar la masa por la gravedad como se muestra en la Tabla 3.

TABLA III. FUERZAS NORMALES EN LOS SOPORTES

Componente	Pesos		
	lb	Kg	N
Volante	25	11,34	111,24
Pedal freno + bomba + servo	12	5,44	53,40

Luego, se divide para el número de pernos de cada componente. Los resultados se muestran a continuación en la Tabla IV.

TABLA IV. FUERZAS EN CADA PERNO

Componente	Pesos		
	N	#Pernos	Fuerza
Volante	111,24	4	27,81 N
Pedal freno + bomba + servo	53,40	4	13,35 N
Acelerador	15,57	3	5,19 N
Cremallera	71,20	4	17,80 N

Las fuerzas calculadas para cada perno se ingresan en el modelado 3D para proceder con el análisis. Las fuerzas colocadas en el programa se muestran en la Fig. 19.

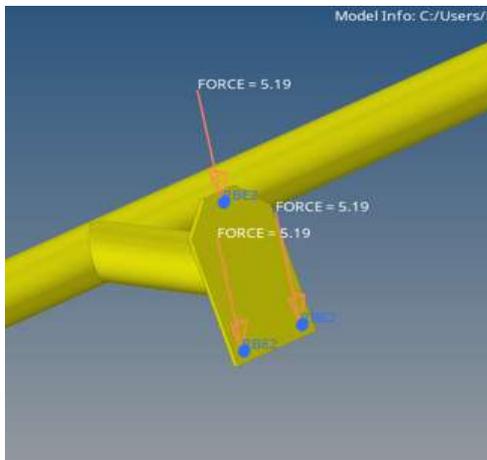


Fig. 19. Creación de fuerzas

F) Creación de material y asignación de propiedad

Como se mencionó con anterioridad, con el mallado 3D, el programa permite darle algunas características a las geometrías que simulan a un material. Para este caso, se creó un material con particularidades similares al de la tubería de acero de bajo carbono que se utilizará para su fabricación. Las características del material se presentan a continuación en la Tabla V.

TABLA V. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

Característica	Valor
Modulo elasticidad	210000 MPa
Densidad equivalente	$7.85e^{-09} \text{Ton/mm}^3$
Coefficiente de Poisson	0.3

Asimismo, se crea una propiedad “PSOLID” ya que nuestra malla es de tipo 3D y se asigna la propiedad antes creada en al componente que guarda la malla 3D. ver Fig. 20.



Fig. 20. Asignación de propiedad

III. Resultados

Una vez configurados los parámetros del proceso CAE, se analizarán las prestaciones mecánicas de los soportes diseñados. Para el apoyo del acelerador, el esfuerzo máximo de VonMises es de 1.71 MPa y el máximo está localizado en la unión del tubo del chasis y el tubo del soporte. Lo mencionado se puede apreciar en la Fig. 21.

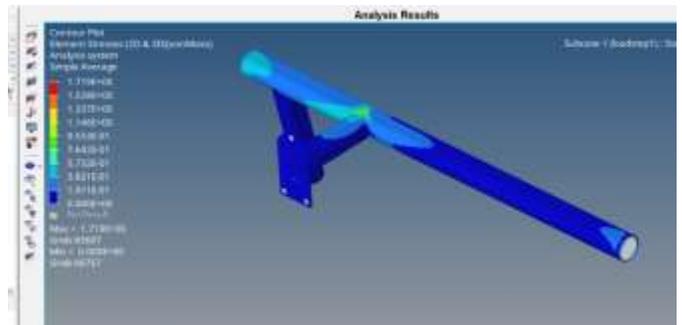


Fig. 21. Esfuerzos en el soporte del acelerador

G) Análisis de los soportes

En los puntos antes mencionados se describió el proceso para el análisis del soporte del acelerador, este proceso se repite para los demás soportes, ya que todos fueron mallados en 3D y con el mismo material. También, las fuerzas que actúan en cada elemento se los puede apreciar en la tabla 2. Por lo tanto, a continuación, se presentan los resultados de los análisis en cada soporte.

Como se puede observar en la Fig. 22, en el soporte de la cremallera se tiene un esfuerzo máximo de 2.61 MPa y el esfuerzo máximo está localizado en la unión inferior del soporte.

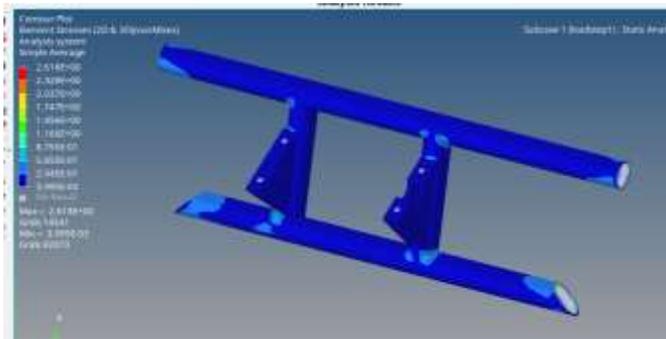


Fig. 22. Esfuerzos en el soporte de la cremallera (2.6MPa)

Por otro lado, al observar la Fig. 23, que corresponde al análisis del soporte del pedal del freno, se tiene un esfuerzo máximo de 6.98 MPa y está localizado en la unión del soporte con el chasis.

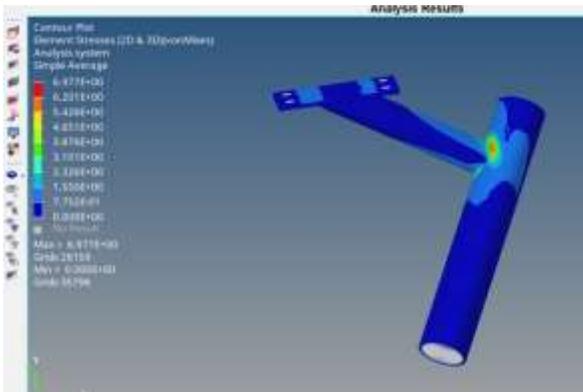


Fig. 23. Esfuerzos en el soporte pedal del freno (6.98 MPa).

Por otro lado, se puede observar en la Fig. 24 que el soporte de la dirección soportará un esfuerzo máximo de 10.4 MPa ubicado en la unión inferior de las placas.

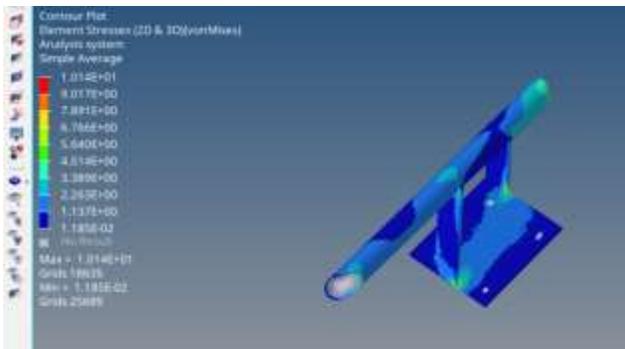


Fig. 24. Esfuerzos en el soporte de la columna de dirección (10.14 MPa).

Así también, se observa en la Fig. 25, que en el soporte del freno de mano se tiene un esfuerzo máximo de 16.8 MPa ubicado en el tubo de la parte superior donde se asienta la placa.

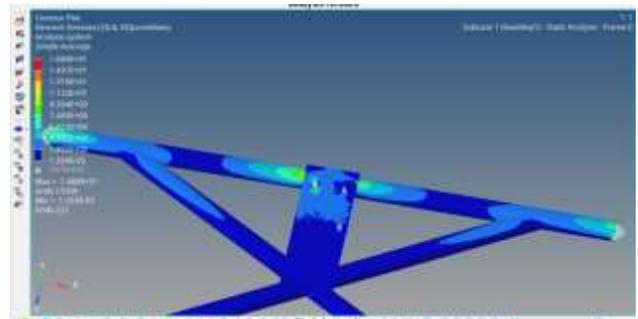


Fig. 25. Esfuerzos en el soporte de la columna de dirección (10.14 MPa).

Con la aplicación de técnicas de diseño y análisis de cargas se generó una propuesta de soportes para los componentes: Volante, Pedal de freno, Bomba, Servo, Acelerador y Cremallera. El acople de los soportes a los demás elementos del vehículo biplaza se presenta a continuación en la Fig. 26, Fig.27, Fig.28 y Fig.29.



Fig. 26. Vista lateral del ensamblaje.

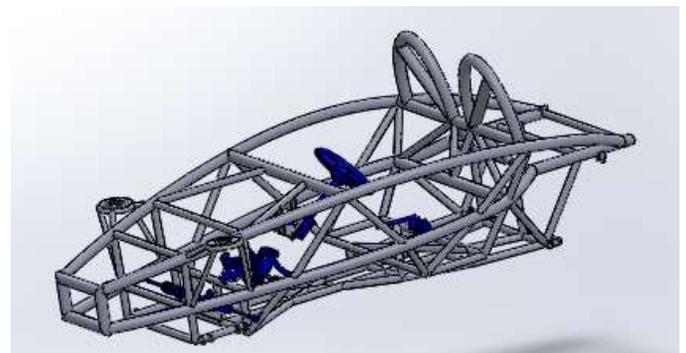


Fig. 27. Vista en perspectiva del ensamblaje

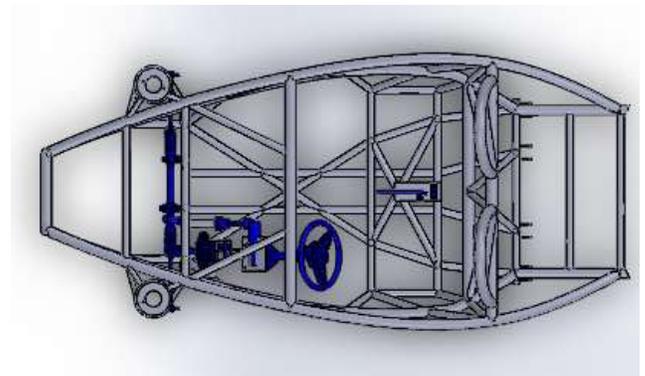


Fig. 28. Vista superior del ensamblaje



Fig. 29. Vista frontal del ensamblaje

#### IV. Conclusiones

Una vez manufacturados los soportes de los componentes de los sistemas de dirección, freno, y transmisión, y montados todos los sistemas del vehículo, se puede aseverar que estos funcionan correctamente, las ruedas delanteras fueron alineadas con un control preciso de tolerancias, cumpliendo con las cotas y ángulos de diseño, además el vehículo posee una excelente maniobrabilidad.

Se modeló y ensambló en un programa CAD 3D los diferentes elementos que conforman los sistemas de dirección, frenos y transmisión de un vehículo eléctrico biplaza, así como las partes que permitirán, su acople con el chasis. Del mismo modo, se verificó en un programa CAD 3D que no exista interferencia mecánica entre los diferentes elementos de los sistemas de dirección, frenos y transmisión de un vehículo eléctrico biplaza.

#### V. Referencias

[1] E. F. S. Carrión, E. M. C. Cárdenas, V. D. B. Morocho, E. P. A. Pérez, y P. Montufar, «Análisis del proceso de manufactura mediante proceso CAD-CAM de un molde para materiales compuestos para la industria automotriz.», *Ciencia Digital*, vol. 3, n.º 2, Art. n.º 2, may 2019, doi: 10.33262/cienciadigital.v3i2.470.

[2] C.-A. Castaño-Urrego *et al.*, «Método de comparación de resultados de modelado CAD-CAE contra probetas de ensayo destructivo», *Acta universitaria*, vol. 30, 2020, doi: 10.15174/au.2020.2668.

[3] L. Shuai, Y. Jing, L. Bin, y L. Bo, «Research Based on CAD/CAE/CFD for Collaborative Design of Automotive Engines», en *2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, ene. 2011, vol. 2, pp. 1044-1047. doi: 10.1109/ICMTMA.2011.542.

[4] V. A. Erazo-Arteaga y V. A. Erazo-Arteaga, «El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina», *Información tecnológica*, vol. 33, n.º 2, pp. 297-308, abr. 2022, doi: 10.4067/S0718-07642022000200297.

[5] J. M. G. Caicedo, «Los Proyectos de Diseño Mecánico Como Herramienta Para el Desarrollo de Competencias Transversales en los Ingenieros», *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 15, n.º 30, Art. n.º 30, dic. 2020, doi: 10.26507/rei.v15n30.1127.

[6] C. D. Lizano Núñez, «Diseño y construcción de la estructura tubular para la carrocería del prototipo de un auto eléctrico BIPLAZA UTA-CIM17», 2018, Accedido: 11 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/27931>

[7] P. M. Paz, V. D. B. Morocho, E. M. C. Cardenas, E. F. S. Carrión, y E. P. A. Perez, «Análisis del diseño y material de un convertidor de par de una transmisión automática sobre el desempeño de torque y potencia de un automóvil liviano.», *Ciencia Digital*, vol. 2, n.º 3, Art. n.º 3, jul. 2018, doi: 10.33262/cienciadigital.v2i3.176.

[8] J. L. Saorín, C. Meier, J. de la Torre-Cantero, C. Carbonell-Carrera, D. Melián-Díaz, y A. B. de León, «Competencia Digital: Uso y manejo de modelos 3D tridimensionales digitales e impresos en 3D», *EDMETIC*, vol. 6, n.º 2, Art. n.º 2, jul. 2017, doi: 10.21071/edmetic.v6i2.6187.

[9] R. X. Navarrete Palacios, «Análisis de la evolución, situación actual y perspectivas para dinamizar la comercialización del vehículo eléctrico en el Ecuador, período 2018 - 2020», 2022, Accedido: 11 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/8719>

[10] W. G. Ramírez, R. M. Río-Belver, I. M. de Alegría, y C. M. Letzkus, «Análisis de la contribución científica Latinoamericana en la temática de los vehículos eléctricos», *Dirección y Organización*, n.º 75, Art. n.º 75, dic. 2021, doi: 10.37610/dyo.v0i75.610.

[11] D. Bravo y R. Guanoluisa, «Diseño Industrial en el Ecuador: Importancia, Historia y Oportunidades», *INGENIO*, vol. 3, n.º 1, Art. n.º 1, jun. 2020, doi: 10.29166/ingenio.v3i1.2400.

[12] J. D. Valladolid *et al.*, *La Ingeniería Automotriz clave para el desarrollo sostenible de Ecuador*. 2018. Accedido: 19 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17060>

[13] F. A. Zea-Izquierdo, J. E. Álvarez-Gavilanes, y G. I. Andrade-Mena, «Estudio de mercado del sector automotriz como herramienta para toma de decisiones empresariales», *CIENCIAMATRIA*, vol. 7, n.º 12, Art. n.º 12, 2020, doi: 10.35381/cm.v7i12.444.

[14] E. L. R. S.A.S, «La industria automotriz registró utilidades por \$785.400 millones durante 2019», *Diario La República*, 2022. <https://www.larepublica.co/especiales/las-1-000-empresas-mas-grandes-de-2018/la-industria-automotriz-registro-utilidades-por-785-400-millones-durante-2019-3041372> (accedido 30 de agosto de 2022).

[15] D. C. Valarezo y N. A. Vivanco, «Efecto que Causan los Impuestos Sobre la Demanda de Automóviles en el Ecuador», *Ciencias Sociales y Económicas*, vol. 4, n.º 1, Art. n.º 1, jun. 2020, doi: 10.18779/csyec.v4i1.290.

[16] G. R. Peña-Meneses y R. G. García-Cáceres, «Elementos importantes de la cadena de abastecimiento del sector automotriz en Colombia», *INGE CUC*, vol. 15, n.º 1, pp. 168-183, jun. 2019, doi: 10.17981/ingecuc.15.1.2019.15.

[17] A. I. Pardo Palacios, «Diseño del sistema de transmisión de potencia a las ruedas para un vehículo tipo fórmula SAE con motor eléctrico», jul. 2016, Accedido: 11 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12908>

[18] E. J. Rivera Guananga y M. Á. Toapanta Mallitasig, «Aplicación de la ingeniería inversa en obtener la geometría del sistema cono y corona para la generación del código ISO y su modelamiento de manufactura aplicado a vehículos pick up», abr. 2022, Accedido: 11 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16584>

[19] J. R. A. Cadena, F. A. V. Erazo, C. M. V. Erazo, y J. S. O. Avila, «INSTALACIÓN DE UN MOTOR ELÉCTRICO PARA PROPULSIÓN DE UN VEHÍCULO Y ACOPLA A SU SISTEMA DE TRANSMISIÓN», *TECH CARLOS CISNEROS*, vol. 1, n.º 01, Art. n.º 01, may 2020, Accedido: 11 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://revistatech.istcarloscisneros.edu.ec/index.php/tech/article/view/6>

[20] Á. L. Barahona Rosero, «Análisis de la factibilidad técnica y ambiental de la inserción de autos eléctricos en el mercado ecuatoriano», nov. 2017, Accedido: 11 de septiembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17051>

[21] B. G. Rivera Villa y C. I. Uyaguari Pesántez, «Diseño del carenado de un vehículo eléctrico biplaza», bachelorThesis, Universidad del Azuay, 2021. Accedido: 25 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10841>

