



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**Manufactura de un vehículo eléctrico bi-plaza**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**Autores:**

**HERRERA FREIRE PABLO FERNANDO  
VICUÑA VÁSQUEZ ALONSO ENRIQUE**

**Director:**

**Ing. ROBERT ESTEBAN ROCKWOOD IGLESIAS Mgst.**

**Cuenca - Ecuador  
2022**

## **DEDICATORIA**

La preparación y el estudio son esenciales para quienes buscamos tener crecimiento.

Dedico este trabajo a mi madre Flor y mi hermana Mayra, sin ellas no tuviera conseguido tan importante logro; a Juan Diego Rodríguez, cuyo conocimiento me ha forjado un ejemplo de profesionalismo; y mis amigos que a lo largo de mi trayecto profesional me han sabido ayudar y servir de apoyo.

*Pablo Fernando Herrera Freire*

**DEDICATORIA**

Esta tesis la dedico a mi familia, principalmente a mis padres, y de manera especial a mi papá que siempre me brindó su apoyo y no me ha dejado en ningún momento a pesar de su pronta partida de este mundo.

*Alonso Enrique Vicuña Vásquez*

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por darnos la oportunidad de cumplir tan importante meta en nuestra vida, también a nuestras familias por ser incondicionales y darnos su amor en todo momento.

*Pablo Fernando Herrera Freire  
Alonso Enrique Vicuña Vásquez*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	vii
<b>RESUMEN</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. METODOLOGÍA</b> .....	3
A. Etapa analítica/acopio:.....	4
B. Etapa de síntesis/producción: .....	4
C. Etapa de acondicionamiento/procesamiento final: .....	4
<b>III. PROCESOS DE MANUFACTURA</b> .....	4
A. Manufactura del Chasis.....	4
B. Manufactura de carenado .....	5
C. Manufactura de Accesorios .....	6
<b>IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b> .....	7
<b>V. REFERENCIAS</b> .....	7

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Obtención del sistema alámbrico que conformará el chasis .....	3
Figura 2. Aplicación de fuerzas y sujeción del vehículo eléctrico en aceleración.....	3
Figura 3. Determinación de los espesores de los tubos.....	3
Figura 4. Comportamiento de la suspensión delantera .....	3
Figura 5. Comportamiento de la suspensión posterior.....	4
Figura 6. Chasis: Izquierda chasis anterior, derecha chasis rediseñado.....	4
Figura 7. Modelado 3D de la matriz de montaje de chasis .....	4
Figura 8. Matriz del montaje de chasis .....	4
Figura 9. Aplicación de capa de pintura de fondo de chasis.....	5
Figura 10. Acabado final de la pintura sobre el chasis .....	5
Figura 11. Montaje de carenado sobre el chasis .....	6
Figura 12. Fijación y verificación del capot sobre el chasis .....	6
Figura 13. Colocación de resina para la base del faro .....	6
Figura 14. Faros del vehículo eléctrico bi-plaza.....	6
Figura 15. Tablero.....	6
Figura 16. Fabricación del molde de espejo retrovisor en CNC.....	7
Figura 17. Obtención de la carcasa a partir del molde.....	7
Figura 18. Acabado de moldes de espejo retrovisor .....	7
Figura 19. Vehículo eléctrico bi-plaza, vista frontal.....	7
Figura 20. Vehículo eléctrico bi-plaza, vista lateral .....	7
Figura 21. Vehículo eléctrico bi-plaza, vista posterior .....	7

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Venta de vehículos eléctricos por segmento en unidades de participación 2017-2019.....	2
Tabla II. Número de empleos generados por fabricación de vehículos .....	2
Tabla III. Número de empleos generados por comercio y reparación de vehículos y motocicletas .....	2
Tabla IV. Propiedades del material.....	3
Tabla V. Resultados de esfuerzos y factores de seguridad para diferentes materiales .....	3
Tabla VI. Comparación de rigidez torsional, método de elementos finitos y chasis manufacturado .....	5
Tabla VII. Correlación del análisis computacional y experimental .....	5

## MANUFACTURA DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO BI-PLAZA

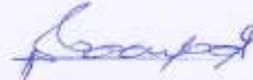
### RESUMEN

El presente trabajo presenta la metodología utilizada para manufacturar un vehículo eléctrico Bi-plaza; y es parte del proyecto de integración curricular presentado por la escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay; el mismo que abarcó: el diseño mecánico del chasis, verificación de prestaciones del sistema de suspensión, análisis de deformación del chasis por impactos, diseño del carenado, análisis de prestaciones dinámicas del carenado, análisis de prestaciones mecánicas del chasis, integración CAD de los diferentes sistemas del vehículo, manufactura del carenado, ensamble de los sistemas del vehículo, diseño y manufactura de apéndices aerodinámicos, diseño y manufactura de accesorios, y verificación de prestaciones mecánicas; el vehículo manufacturado tiene excelentes prestaciones mecánicas, y cumple con los estándares de seguridad y calidad establecidos en el proyecto. El conocimiento generado en este proyecto contribuye al desarrollo de los procesos de Ingeniería Automotriz del Ecuador, al integrar novedosas técnicas de diseño y manufactura asistidos por computador.

*Palabras clave* – vehículo eléctrico, manufactura, integración CAD, CAE, CAM.



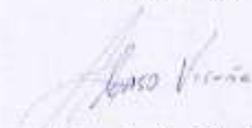
Ing. Robert Rockwood Msc.  
Director del trabajo de titulación



Ing. Robert Rockwood. Msc.  
Director de Escuela



Pablo Fernando Herrera Freire  
Autor



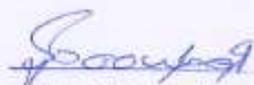
Alonso Enrique Vicuña Vásquez  
Autor

## MANUFACTURING OF A TWO-SEAT ELECTRIC VEHICLE

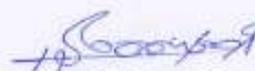
### ABSTRACT

This paper presents the methodology used to manufacture a two-seater electric vehicle; and it is part of the curricular integration project presented by the School of Automotive Engineering of the University of Azuay; the same one that covered: the mechanical design of the chassis, performance verification of the suspension system, analysis of deformation of the chassis due to impacts, design of the fairing, analysis of dynamic performance of the fairing, analysis of mechanical performance of the chassis, CAD integration of the different vehicle systems, manufacture of the fairing, vehicle system set, design and manufacture of exceptional aerodynamics, design and manufacture of accessories, and verification of mechanical performance. The manufactured vehicle has excellent mechanical features, and complies with the safety and quality standards established in the project. The knowledge generated in this project contributes to the development of Automotive Engineering processes in Ecuador, by integrating innovative computer-aided design and manufacturing techniques.

*Keywords* – electric vehicle, manufacturing, CAD, CAE, CAM integration.



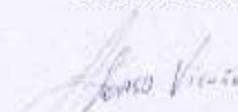
Ing. Robert Rockwood Msc.  
Director del trabajo de titulación



Ing. Robert Rockwood Msc.  
Director de Escuela



Pablo Fernando Herrera Freire  
Autor



Alonso Enrique Vicuña Vásquez  
Autor

Translated by




Pablo Herrera and Alonso Vicuña

# Manufactura de un Vehículo Eléctrico Bi-plaza

**Pablo Herrera Freire**

*Universidad del Azuay*

*Facultad de Ciencia y Tecnología*

*Ingeniería Mecánica Automotriz*

Cuenca Ecuador

69694@es.uazuay.edu.ec

**Alonso Vicuña Vásquez**

*Universidad del Azuay*

*Facultad de Ciencia y Tecnología*

*Ingeniería Mecánica Automotriz*

Cuenca Ecuador

alonsoenrique11vv@es.uazuay.edu.ec

**Resumen**— El presente trabajo presenta la metodología utilizada para manufacturar un vehículo eléctrico Bi-plaza; y es parte del proyecto de integración curricular presentado por la escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay; el mismo que abarcó: el diseño mecánico del chasis, verificación de prestaciones del sistema de suspensión, análisis de deformación del chasis por impactos, diseño del carenado, análisis de prestaciones dinámicas del carenado, análisis de prestaciones mecánicas del chasis, integración CAD de los diferentes sistemas del vehículo, manufactura del carenado, ensamble de los sistemas del vehículo, diseño y manufactura de apéndices aerodinámicos, diseño y manufactura de accesorios, y verificación de prestaciones mecánicas; el vehículo manufacturado tiene excelentes prestaciones mecánicas, y cumple con los estándares de seguridad y calidad establecidos en el proyecto. El conocimiento generado en este proyecto contribuye al desarrollo de los procesos de Ingeniería Automotriz del Ecuador, al integrar novedosas técnicas de diseño y manufactura asistidos por computador.

**Palabras clave**— vehículo eléctrico, manufactura, integración CAD, CAE, CAM.

**Abstract**— This paper presents the methodology used to manufacture a two-seater electric vehicle; and it is part of the curricular integration project presented by the School of Automotive Engineering of the University of Azuay; the same one that covered: the mechanical design of the chassis, performance verification of the suspension system, analysis of deformation of the chassis due to impacts, design of the fairing, analysis of dynamic performance of the fairing, analysis of mechanical performance of the chassis, CAD integration of the different vehicle systems, manufacture of the fairing, set of vehicle systems, design and manufacture of exceptional aerodynamics, design and manufacture of accessories, and verification of mechanical performance; the manufactured vehicle has excellent mechanical features, and complies with the safety and quality standards established in the project. The knowledge generated in this project contributes to the development of Automotive Engineering processes in Ecuador, by integrating innovative computer-aided design and manufacturing techniques.

**Keywords**— electric vehicle, manufacturing, CAD, CAE, CAM integration.

## I. INTRODUCCIÓN

El presente documento muestra a detalle los procesos utilizados para manufacturar el chasis, el carenado y los accesorios de un vehículo eléctrico bi-plaza, como parte del proyecto de integración curricular presentado por la escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad del Azuay.

Este proyecto busca explorar el potencial del uso de las últimas técnicas de ingeniería aplicadas al sector automotriz, y contribuir al desarrollo de la industria nacional; y a su vez, analizar alternativas de movilidad que contribuyan a mitigar el Calentamiento Global.

Dadas las nuevas políticas y normativas que se han venido implementando en el mundo debido al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero, las cuales buscan disminuir las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) proveniente de vehículos equipados con Motores de Combustión Interna (MCI), actualmente se buscan alternativas tecnológicas viables para reemplazar estos vehículos, una de ellas es la tecnología de sistemas de propulsión eléctrica. Por otra parte Ecuador poco a poco va aplicando medidas similares; es así que, se observa un incremento en la adquisición de vehículos eléctricos a partir del año 2017 en automóviles, camionetas y buses (Tabla I), dicho esto, es el momento ideal para aprovechar la transición e implementar cambios en la matriz productiva del país: incorporando procesos de ingeniería con aporte nacional; y a su vez articulando todos los encadenamientos productivos relacionados, factores que resultan indispensables para reactivar la industria automotriz nacional.

En 2019 [1]. Ecuador implementó la Ley Orgánica de Eficiencia Energética la cual promueve el uso de energía limpia y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero; en el artículo 14.- Eficiencia energética en el transporte se indica que a partir del año 2025 todos los vehículos que se incorporen al servicio de transporte público urbano e inter parroquial en Ecuador, deberán ser únicamente de medio motriz eléctrico, por otra parte, el artículo 20.- Investigación y desarrollo tecnológico indica que el estado apoyará la investigación y desarrollo en el ámbito de eficiencia energética así todos los proyectos con potencial en esta área serán financiados por la SENESCYT.

Según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador AEADE, “para fortalecer el crecimiento del sector automotriz, el gobierno nacional realiza esfuerzos en materia de tributación, aduanas, proyectos de inversión e incentivos para la integración de auto partes y de ensamblaje de chasis de buses y camiones”, [2]. De esta manera se busca atraer a la inversión privada la cual es la encargada de generar nuevas plazas de trabajo en el área de procesos de manufactura.

TABLA I. VENTA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS POR SEGMENTO-EN UNIDADES DE PARTICIPACIÓN 2017-2019, [3].

Año	Automóvil	%	Sub	%	Camioneta	%	Bus	%
2017	96	78,05	20	16,26	7	5,69	0	0,00
2018	96	73,85	33	25,38	1	0,77	0	0,00
2019	59	52,27	24	23,30	0	0,00	20	19,42

Por otra parte, la generación de empleos en 2019 por el sector automotriz corresponde a 182.491 plazas de trabajo de las cuales se puede categorizar en: fabricación de vehículos que genera 11.373 empleos como se describe en la tabla II, y en comercio y reparación de vehículos y motocicletas que genera 171.118 empleos; siendo la reparación la categoría que mayor número de empleos genera y se describe en la tabla III.

TABLA II. NÚMERO DE EMPLEOS GENERADOS POR FABRICACIÓN DE VEHÍCULOS, [3].

Fabricación de vehículos	
Actividad	# Trabajadores
Fabricación de vehículos, carrocerías, remolques y semirremolques	8.728
Fabricación de autopartes	2.645
Subtotal	11.373

TABLA III. NÚMERO DE EMPLEOS GENERADOS POR COMERCIO Y REPARACIÓN DE VEHÍCULOS Y MOTOCICLETAS, [3].

Comercio y reparación de vehículos y motocicletas	
Actividad	# Trabajadores
Venta de vehículos	16.662
Mantenimiento de vehículos	110.552
Venta de autopartes	32.531
Venta y mantenimiento de motocicletas	11.373
Subtotal	171.118

Con estos datos, resulta evidente que es necesario emprender proyectos que contribuyan a la generación de conocimiento en diseño y manufactura automotriz, así como el uso de fuentes de energía alternativas para la motorización de vehículos, de esta manera se podrían aprovechar las condiciones del mercado automotriz e impulsar la industria ecuatoriana.

En cuanto al nivel tecnológico de los procesos de manufactura automotriz se debe aclarar que este conocimiento ha sido generado tradicionalmente por las grandes marcas automotrices, y no es posible acceder a él; es por ello que existe una brecha importante respecto a la información de acceso público.

No obstante, para el desarrollo de este proyecto es importante delimitar el estado del arte a nivel académico, como el estudio presentado por (Méndez, 2018), “Propuesta para proceso de producción del sistema de suspensión, chasis, dirección y frenos con manufactura esbelta referenciado en un vehículo monoplaza tipo fórmula SAE”, realizado en la ciudad de Cuenca, el cual propone un proceso de producción usando herramientas de manufactura esbelta para la construcción de los diferentes sistemas que conforman el monoplaza, las metodologías aplicadas parten de la necesidad y planificación; se realiza un estudio de varios métodos de producción y herramientas organizacionales que ayuden a plantear métodos de mejora continua, con ello una propuesta en base a optimización de tiempo y dinero para la construcción, [4]. Dicho estudio permite sentar las bases para diferentes grupos de investigación o proyectos técnicos.

En el trabajo de (Palafox, 2009), “Diseño y construcción de un vehículo eléctrico con variador de velocidad mediante un convertidor CD-CD”, de la ciudad de México, en el cual se elabora la estructura sobre el cual irá montado los elementos que conforman el monoplaza de tamaño 90 x 140 cm (ancho y largo); se construyó el sistema propulsor y la estructura de un vehículo eléctrico monoplaza, a su vez se resolvió problemas de integración entre los sistemas que conforman el vehículo, posteriormente fue probado de manera satisfactoria, [5]. Este estudio sirve como base para iniciar otros proyectos en sistemas mecánicos que mejoren el sistema de frenos, suspensión y optimización de la estructura del vehículo.

(Carreño, 2011) presentan el “Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar” de Colombia, en este artículo dividido en dos áreas: diseño y construcción, del cual destacamos el subconjunto mecánico, y que se desarrollan de manera interdisciplinaria y evalúa que sistemas son necesarios diseñar y que sistemas simplemente se montan para el funcionamiento del vehículo, lo que nos da la pauta para definir estos aspectos sobre nuestro proyecto [6]. En este caso los criterios realizados para efectuar los procesos nos brindan un amplio margen de conocimiento para comenzar nuestro proyecto.

En síntesis, de los estudios se coincide que antes de comenzar la construcción se debe realizar una investigación bibliográfica, utilizar un criterio ingenieril para la selección de los procesos de manufactura y al final realizar las pruebas correspondientes, verificando que no exista ningún inconveniente ni conflicto con los diferentes sistemas para un correcto funcionamiento.

Cabe destacar que, son varios trabajos que se sintetizan en este documento, siendo así que, hubo etapas de diseño y optimización previo a la apertura de este trabajo de titulación que consiste en la manufactura de los diferentes sistemas que conforman el vehículo eléctrico bi-plaza; dichos trabajos han sido muy importantes en términos de estudios para poder ejecutar la construcción. Pues si bien en el país se han fabricado vehículos, la ingeniería de diseño no se realiza actualmente en nuestro país.

El objetivo de este trabajo es describir los procesos de manufactura que se utilizaron para la construcción de un vehículo eléctrico bi-plaza, integrando procesos de ajuste de los diferentes sistemas, obteniendo una propuesta metodológica para manufacturar un vehículo eléctrico bi-plaza; siendo la investigación y desarrollo de procesos de manufactura para vehículos eléctricos, una opción de emprendimiento sostenible y sustentable que generará nuevas plazas de trabajo.

## II. METODOLOGÍA

Previo a la descripción de la metodología utilizada en este proyecto, es importante mencionar aspectos relevantes que se consideraron para el diseño del chasis y el carenado; así en primer lugar se definió el tipo de vehículo, en donde se tomó como referencia el vehículo Ariel Atom por estética y prestaciones, posteriormente se diseñó el carenado y se verificó la ergonomía del vehículo; por último se definió el diseño del entramado a través de una optimización topológica estructural (figura 1), asimismo, para definir dimensiones de los sistemas de dirección y suspensión se tomaron como referencia los elementos equipados en el vehículo Chok G2, como se detalla en el trabajo de (Espinoza & Román, 2021), [7]. Esta propuesta fue validada por (Narváez & Cuesta, 2021) mediante una simulación de los modelos de carga (figura 2), en la cual se investigó el fundamento teórico y las condiciones de manejo a la que se somete la estructura tubular, posteriormente se compara los factores de seguridad y la rigidez torsional obtenida en los modelos de carga de la estructura, [8]. Por último, (Cumbicus & Iglesias, 2021), [9], realizaron una optimización de tamaño del chasis para obtener el espesor de los tubos (figura 3), identificando zonas de diseño y no diseño establecidas en el trabajo de simulación antes mencionado; esta optimización dio como resultado que las tensiones máximas permanecen por debajo de la tensión admisible del material, asegurando la integridad de la estructura.

En las tablas IV y V se muestran las propiedades del material y los resultados de esfuerzos y factores de seguridad.

TABLA IV. PROPIEDADES DEL MATERIAL, [9].

Propiedad	Especificación
Material	Acero
Módulo de elasticidad (E)	210 GPa
Resistencia a la fluencia (Sy)	250 MPa
Denominación comercial	A 36
Densidad	7 860 kg/m <sup>3</sup>
Relación de Poissons	0,26

TABLA V. RESULTADOS DE ESFUERZOS Y FACTORES DE SEGURIDAD PARA DIFERENTES MATERIALES, [9].

Parámetro	Material			
	Tubo local [ASTM A 500]	Tubo importado [ASTM A 572]	Chapa [ASTM A 572]	Chapa [ASTM A 36]
Esfuerzo [MPa]	3.15	345	345	345
Factor de seguridad [-]	1.57	1.72	1.72	1.25



Fig. 1. Obtención del sistema alámbrico que conformará el chasis, [7].

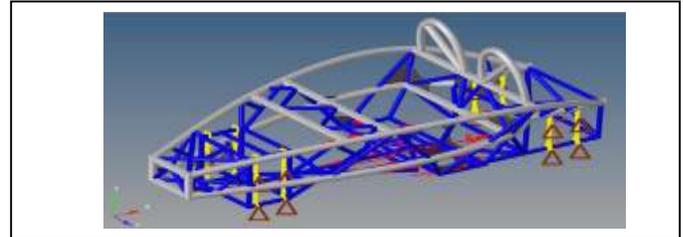


Fig. 2. Aplicación de fuerzas y sujeción del vehículo eléctrico en aceleración, [8].

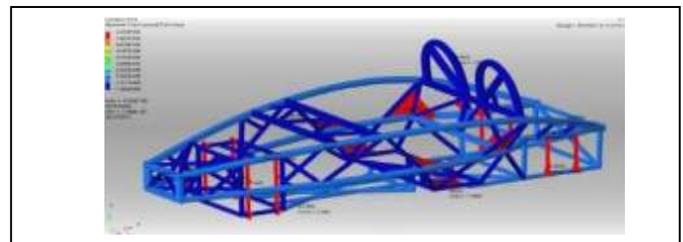


Fig. 3. Determinación de los espesores de tubos, [9].

Para el análisis de la suspensión se realizó un análisis dinámico de cuerpos múltiples MDB; se realizaron simulaciones cinemáticas con el fin de identificar conflictos de interferencias mecánicas entre los sistemas de chasis y suspensión, cuyos resultados demuestran los rangos de desplazamiento a los cuales funciona la suspensión de manera óptima y el máximo ángulo de giro que pueden llegar las ruedas, [10]. En las figuras 4 y 5 se muestra los comportamientos de la suspensión a través de la simulación.

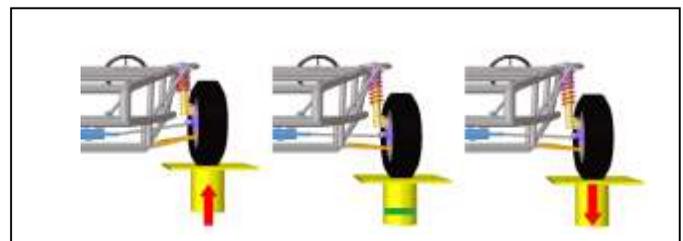


Fig. 4. Comportamiento de la suspensión delantera, [10].

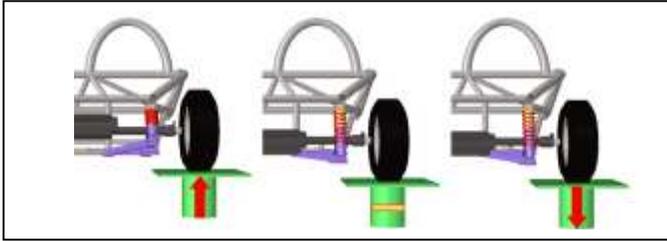
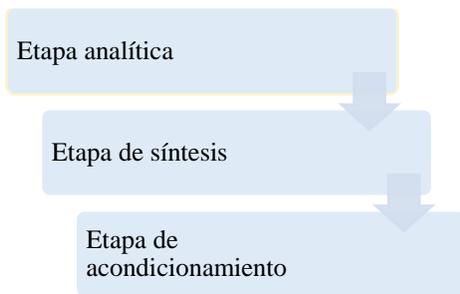


Fig. 5. Comportamiento de la suspensión posterior, [10].

Con estos estudios de partida se conoce a detalle la forma elemental del chasis, así como los materiales necesarios para su manufactura.

La metodología empleada para realizar los procesos de manufactura se desarrolla en tres etapas que describen los pasos más importantes utilizados para la fabricación del vehículo eléctrico bi-plaza.



#### A. Etapa analítica/acopio:

En esta etapa se efectúa los rediseños y ajustes en software de modelado 3D y simulación CAE con el fin de realizar la integración de todos los sistemas que conforman el vehículo. También, se determinan las características de la materia prima que se va a utilizar en la fabricación de chasis, carenado y accesorios.

#### B. Etapa de síntesis/producción:

En esta etapa se realiza los procesos necesarios sobre la materia prima para la manufactura del sistema de chasis, carenado y accesorios.

#### C. Etapa de acondicionamiento/procesamiento final:

En esta etapa se ejecuta el armado en conjunto de los sistemas del vehículo y se realiza las pruebas correspondientes de cada sistema.

### III. PROCESOS DE MANUFACTURA

A continuación, se describen los procesos de manufactura realizados para la construcción de un vehículo eléctrico Bi-plaza.

#### A. Manufactura del Chasis

Chasis es la estructura principal, la cual da cabida y soporte a todos las piezas y elementos que forman el vehículo.

En primer lugar, mediante software de modelado se obtuvo el modelo 3D del chasis, el cual, a través de simulación de cargas y esfuerzos se valida, y posteriormente se integra al resto de modelos 3D de los diferentes sistemas que conforman el vehículo comprobando que no exista inconvenientes para su construcción. Este proceso se realiza varias veces en conjunto con los demás sistemas hasta que no exista ningún conflicto de interferencia mecánica entre las partes (figura 6).

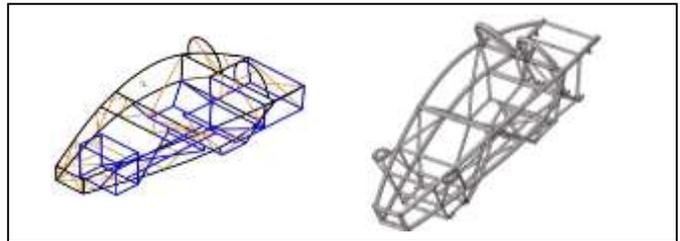


Fig. 6. Izquierda, chasis anterior, [7]; derecha, chasis rediseñado, [9].

Para facilitar la construcción del chasis, se diseñó una matriz mediante software de modelado 3D (figura 7), en donde cabe toda la estructura, está servirá de base para la colocación de los perfiles que conforman el chasis y permitirán controlar tolerancias de ajuste entre sus elementos.



Fig. 7. Modelado 3D de la matriz de montaje de chasis.



Fig. 8. Matriz del montaje de chasis.

Una vez validado el diseño, se construye la matriz con MDF como se observa en la figura 8, cortado a medida en CNC misma que se fija a una base de madera; posteriormente se elabora los planos unitarios de los elementos que conforman la estructura del chasis y se procede a imprimir en escala 1-1 cada uno de los elementos; estos se irán colocando sobre la matriz de montaje.

Los perfiles son en acero ASTM A36, el espesor de los tubos varía de acuerdo con su ubicación en el diseño, teniendo los perfiles principales un espesor de 1.8mm (espesor comercial).

Los largueros principales de la estructura tubular se cortaron a medida y se procedió a rolar de acuerdo con los planos, luego fueron los primeros en colocarse sobre la base de fijación de madera.

Para los perfiles circulares transversales se elaboró una máquina de corte “de boca de pescado”, que ayudan a la precisión en cuanto a los ángulos de corte, y uno a uno se procedió a cortar de acuerdo con el plano y a su fijación sobre los largueros mediante soldadura por arco eléctrico.

En los perfiles que forman la cabecera se tuvo mayor detalle en el doblado y su posterior acabado, dado que, de toda la estructura tubular son los únicos visibles, la estructura que conforma el chasis va cubierta externamente por el carenado; siendo un trabajo de mayor precisión para conseguir el ángulo al cual están diseñados.

Finalizado el montaje de todos los perfiles de la estructura se revisó en conjunto con los demás sistemas que conforman el vehículo (suspensión, dirección y frenos, carenado y electrónica) y se validó que no exista inconvenientes para su posterior intervención, en ese momento se procede a la soldadura por costura de cordones completos de toda la estructura, [11]. Dicha soldadura se validó mediante ensayos no destructivos NTD, de inspección visual (VT), observando especialmente que no exista discontinuidad en los cordones, socavaduras (mordeduras de borde) y porosidad, y que cumpla con penetración completa, adicionalmente se realizó el ensayo de tintas penetrantes (PT), [12], [13].

Se ejecutó un exhaustivo control de calidad durante todos los procesos de manufactura de chasis, complementariamente se realizó las adecuaciones necesarias para la sujeción de carenado, accesorios, asientos, baterías, etc.

Las pruebas experimentales a las cuales el chasis se sometió fueron dos:

- Prueba de flexión, en la cual se determina el desplazamiento máximo que se obtiene luego de aplicar la carga.
- Prueba de rigidez torsional delantera y de rigidez torsional posterior, donde se obtiene los desplazamientos máximos luego de aplicar un momento.

TABLA VI. COMPARACIÓN DE RÍGIDEZ TORSIONAL ENTRE MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS Y EL CHASIS MANUFACTURADO, [14].

Método	Desplazamiento [mm]	Ángulo [°]	Rigidez [N·m/°]
<b>Rigidez torsional delantera</b>			
Elementos finitos	4.34	0.42	7142.85
Experimental	5	0.49	6122.45
<b>Rigidez torsional posterior</b>			
Elementos finitos	4.58	0.59	5053.25
Experimental	6	0.77	3896.10

TABLA VII. CORRELACIÓN DEL ANÁLISIS COMPUTACIONAL Y EXPERIMENTAL, [14].

	Nivel de correlación
Rigidez torsional delantera	85.8 %
Rigidez torsional posterior	77.2 %

Las tablas VI y VII muestran un paralelismo superior al 75% entre el método computacional y experimental, debido a que el entorno de desarrollo de ambos métodos es muy diferente.

Como último paso se realiza una limpieza total de la estructura y correcciones en caso de ser necesario ocupando masilla para cubrir imperfecciones antes de iniciar el proceso de pintura, el cual consiste en aplicar una capa de fondo de color blanco (figura 9), y una capa final de color aluminio (Figura 10).



Fig. 9. Aplicación de capa de pintura de fondo del chasis.



Fig. 10. Acabado final de la pintura sobre el chasis.

### B. Manufactura de carenado

Carenado se denomina al revestimiento externo que se adapta al chasis con fines aerodinámicos, estéticos y de protección, puede ser de varios materiales; este proyecto se fabricó a partir de fibra de vidrio y fibra de carbono.

La propuesta de diseño basada en las normas SAE-J286 y SAE-J1100, que brindan aspectos prácticos de diseño y manufactura, como: ergonomía, seguridad, maniobrabilidad y confort; el estudio de (Rivera & Uyaguari, 2021), que también analizó el desempeño aerodinámico del vehículo; y donde se garantiza las prestaciones de seguridad y comodidad, [15].

Se planteó un rediseño de carenado debido a las modificaciones efectuadas en el chasis con la ayuda de un software de modelado 3D, obteniendo funcionalidad aerodinámica y estética adecuada para el vehículo eléctrico bi-plaza, el proceso de manufactura de carenados laterales del vehículo se lo realizó en fibra de vidrio con los siguientes pasos:

- Se obtuvo la forma requerida utilizando una malla metálica.
- Se aplicó la fibra de vidrio para obtener la forma deseada, constando de masilla en la parte interna y de 3 capas de fibra de vidrio en la parte externa.
- Se realizó el acabado superficial que consistió en dejar una superficie lisa y sin imperfecciones.
- Finalmente se realizó el proceso de pintado, constado de capa de fondo, pintura externa y brillo para el acabado final.

En la figura 11, se muestra el montaje del carenado sobre el chasis para comprobar que no exista conflicto en el acople de este.



Fig. 11. Montaje de carenado sobre el chasis.

Para el proceso de manufactura del capot (figura 12), se realizó un molde negativo en fibra de vidrio con excelente acabado en el cual se aplicó la fibra de carbono para obtener la forma deseada para finalmente desmoldar y realizar el acabado final dando una estética adecuada.



Fig. 12. Fijación y verificación del capó sobre el chasis.

### C. Manufactura de Accesorios

En el proceso de manufactura de accesorios al igual que en el carenado se realizó el diseño de nuestros elementos a construir con la ayuda de un software de modelado 3D para obtener los moldes mediante una herramienta CNC, el material de los moldes fue MDF a los cuales se dio un acabado superficial sin defectos.

Los faros y alerones delanteros y posteriores fueron manufacturados en fibra de carbono realizados por el método de laminado manual, [16]. La cual consiste en:

- Tener un molde abierto, debidamente acondicionado, pulido y con agentes desmoldantes como cera y alcohol para evitar que la pieza final se adherida al molde.
- En el proceso de manufactura se trabajó por capas, una de fibra de carbono y una de resina, alternándolas hasta obtener el espesor deseado.
- En el siguiente paso se usó una brocha para esparcir la resina como se indica en la figura 13, también puede utilizarse un rodillo para dar un buen acabado y evitar burbujas de aire para así obtener un acabado final adecuado.
- Al final se realizó el proceso de curado que consiste en la solidificación de nuestra pieza, seguido de desmoldar los elementos manufacturados y finalmente dar el acabado requerido con lija de agua y pulido. En la figura 14 se muestra el faro montado sobre el vehículo.



Fig. 13. Colocación de resina para la base del faro.



Fig. 14. Faros del vehículo eléctrico bi-plaza.

Para el tablero del vehículo (figura 15), se realizó el diseño en base a la ubicación de varios elementos internos, una vez obtenido el diseño con la ayuda del software de modelado la manufactura se realizó mediante impresión 3D en material PLA.



Fig. 15. Tablero.

Las carcasas de espejos retrovisores se realizaron de fibra de vidrio usando los moldes obtenidos previamente diseñados. Para la fabricación del molde se usó CNC como se observa en la figura 16.

En las figuras 17 y 18 se observa los moldes de las carcasas en fibra de vidrio.



Fig. 16. Fabricación de molde de espejo retrovisor en CNC.



Fig. 17. Obtención de la carcasa a partir del molde..



Fig. 18. Moldes de espejo retrovisor.

#### IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El propósito de este trabajo se ve plasmado en la descripción e integración de los procesos de manufactura automatizada que se realizaron para la construcción y pruebas del vehículo eléctrico bi-plaza.

El rediseño integral de los sistemas realizado antes de la construcción fue muy importante al momento de disminuir los posibles conflictos antes de la elaboración de los diferentes sistemas. Una vez definido y aprobado los rediseños, la construcción de cada uno de los sistemas se pudo realizar por separado en el mismo tiempo. Es así como, una vez culminado el sistema principal que fue chasis, los demás sistemas se fueron montando y verificando que efectivamente no exista inconvenientes.

Se realizó adicionalmente pruebas de rigidez y torsión en el sistema de chasis, el cual consistió en un análisis por elementos finitos, contrastado por una prueba experimental, cuyos valores

de desplazamiento para la rigidez torsional delantera son de 4.4 mm para el método de elementos finitos y 5 mm para el método experimental; y en la rigidez torsional posterior valores de 4.58 mm y 6 mm respectivamente; estos resultados son favorables ya que su contraste supera el 75%. Además, las pruebas de inspección visual y tintas penetrantes que se efectuó sobre la estructura de este siguiendo la metodología de la AWS (American Welding Society) se aprobó sin ningún inconveniente.

Para el montaje y conexiones de los diferentes sistemas se ejecutó una labor en conjunto; posteriormente teniendo mucho cuidado de no dañar los acabados y la pintura, se continuó con la colocación de los accesorios sobre el vehículo.

Finalmente se muestra como resultado un vehículo eléctrico bi-plaza totalmente funcional. (figuras 19, 20 y 21).



Fig. 19. Vehículo eléctrico bi-plaza, vista frontal.



Fig. 20. Vehículo eléctrico bi-plaza, vista lateral.

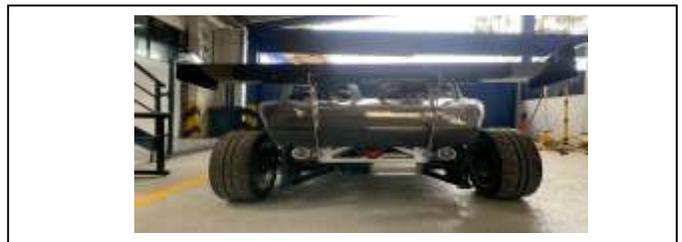


Fig. 21. Vehículo eléctrico bi-plaza, vista posterior.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Asamblea Nacional República del Ecuador., *Ley orgánica de eficiencia energética*, Quito, 2019. <https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/Ley-Eficiencia-Energe%CC%81tica.pdf>
- [2] Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, AEADE., *Anuario 2019*, Quito, 2019. [https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2020/07/AEADE-ANUARIO-2019-OK\\_1.pdf](https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2020/07/AEADE-ANUARIO-2019-OK_1.pdf)

- [3] Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, AEADE., *Sector automotor en cifras*, vol. No.55, Quito, 2021. <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2021/05/Sector-en-Cifras-55-Resumen.pdf>
- [4] E. B. Mendez V, *Propuesta para proceso de producción del sistema de suspensión, chasis, dirección y frenos con manufactura esbelta referenciado en un vehículo monoplaza tipo fórmula SAE*, Cuenca, 2018. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15734/1/UPS-CT007719.pdf>
- [5] G. I. Palafox A, *Diseño y construcción de un vehículo eléctrico con variador de velocidad mediante un convertidor CD-CD*, Oaxaca, 2009. [http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/10990.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10990.pdf)
- [6] E. Carreño, E. Vacca and I. Lugo, *Diseño y fabricación de un vehículo autónomo impulsado por energía solar*, Bogotá, 2011. <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v16n32/v16n32a09.pdf>
- [7] E. Espinoza and S. Román, *Optimización topológica de un chasis tubular para un vehículo eléctrico biplaza*, Cuenca, 2021. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10946/1/16487.pdf>
- [8] A. Narváez and P. Cuesta, *Análisis de los modelos de carga sobre la estructura tubular de un vehículo eléctrico biplaza mediante simulación computacional*, Cuenca, 2021. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10886/1/16427.pdf>
- [9] A. Cumbicus and D. Iglesias, *Optimización de tamaño de un chasis tubular para un vehículo eléctrico biplaza*, Cuenca, 2021. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11231/1/16768.pdf>
- [10] F. Rodríguez and B. Patiño, *Integración CAD/CAE y análisis metrológico de los componentes del sistema de suspensión de un vehículo eléctrico biplaza*, Cuenca, 2022.
- [11] AWS American Welding Society, *Specification for automotive weld quality-arc welding of steel AWS D8.8M:2021*, 2021. [https://pubs.aws.org/Download\\_PDFS/D8\\_8M\\_2021\\_PV.pdf](https://pubs.aws.org/Download_PDFS/D8_8M_2021_PV.pdf)
- [12] AWS American Welding Society, *Código de soldadura estructural - acero AWS D1.1*, 2015. [https://pubs.aws.org/download\\_pdfs/d1.1-2015-spa-pv.pdf](https://pubs.aws.org/download_pdfs/d1.1-2015-spa-pv.pdf)
- [13] AWS American Welding Society, *Guide for the nondestructive examination of welds AWS B1.10M/B1.10*, 2009. [https://pubs.aws.org/Download\\_PDFS/B1.10M-B1.10-2009PV.pdf](https://pubs.aws.org/Download_PDFS/B1.10M-B1.10-2009PV.pdf)
- [14] R. Montesdeoca, and P. Seaz, *Análisis de las prestaciones estructurales de un chasis vehicular tubular de un vehículo eléctrico biplaza*, Cuenca, 2022.
- [15] B. RIVERA and C. Uyaguari, *Diseño del carenado de un vehículo eléctrico biplaza*, Cuenca, 2021. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10841/1/16383.pdf>
- [16] J. M. Martínez Benavides and L. A. Vargas Martínez, *Estudio de propiedades mecánicas en láminas de fibra de carbono fabricadas mediante el proceso de laminación para elementos aeronáuticos*, Pereira, 2019. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/ab457157-c48e-4e67-a7f0-28cad931dce9/content>