



**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ**

**Integración CAD para un chasis de un vehículo eléctrico bi-plaza**

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

**INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ**

**Autores:**

**Juan Diego Calvache Fajardo**

**Pedro Esteban López Barreto**

**Nombre del director:**

**FRANCISCO TORRES MOSCOSO**

**CUENCA – ECUADOR**

**2022**

**DEDICATORIA**

El presente trabajo va dedicado con todo mi corazón a mi familia, pues son quienes han sabido darme las fuerzas necesarias para cumplir mis sueños anhelados.

A las tres mujeres especiales con quien tuve la virtud de crecer y ser educada, mi abuelita, mi madre y mi tía por ser el apoyo y la palabra de ánimo a lo largo de mis estudios.

*Juan Calvache*

**DEDICATORIA**

Dedico este logro a mis padres, Luis y Susana, por haberme apoyado incondicionalmente, formarme como persona e inculcarme el respeto la honestidad y la responsabilidad; de igual manera a mis hermanas, Lorena y Adriana, por estar siempre pendientes y preocupadas de que mi sueño de obtener mi título se haga realidad.

*Pedro López*

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, mi Señor y Salvador quien es mi guía y protector en todo tiempo y camino. A mi tutor Mgs. Francisco Torres quien ha contribuido de manera óptima para la realización del presente trabajo.

Además, agradezco de manera especial a mi mami Fanny por apoyarme en todo momento y estar allí siempre que la necesito y mi agradecimiento más profundo a mi tía Soraya Fajardo quien me ayudó y motivo a llegar a la meta que es la culminación de mis estudios.

*Juan Calvache*

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a Dios, por haberme otorgado una familia maravillosa, que creyeron en mí siempre, dándome el ejemplo de superación y sacrificio.

Agradezco también a los docentes de la Universidad que me brindaron y transmitieron sus conocimientos; a mis tíos, primos, novia y demás familiares por su preocupación; finalmente y no menos importantes, a mis amigos de la Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz por su apoyo.

*Pedro López*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>REVISIÓN DE LA LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>7</b>
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>10</b>
<b>CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>16</b>

# INTEGRACIÓN CAD PARA UN CHASIS DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO BI-PLAZA

## RESUMEN

En la actualidad, los recursos ingenieriles están conformados entre otros, por sistemas de diseño asistido por computador (CAD), a través de herramientas tridimensionales que permiten el diseño de productos para promover ingeniería simultánea y mejorar la productividad. Esto ayuda al diseño de vehículos de manera eficiente y fiable, especialmente al reducir el tiempo de diseño, acelerar la automatización o mejorar la calidad general de los modelos CAD. Así, el presente estudio propone siete etapas para la integración CAD de los diversos sistemas vehiculares en un chasis. Se contempla el desarrollo del concepto, una codificación, especificación de cada sistema y una planeación del ensamblaje basada en normativa y evaluación. Los resultados exponen la integración de los sistemas de suspensión, frenos, dirección, propulsión y carenado en un chasis; concluyéndose que la planificación del ensamblaje reduce el tiempo de las actividades durante la manufactura.

**Palabras claves**— chasis tubular, ensamble CAD, diseño de vehículo eléctrico



.....  
Ing. Francisco Torres Moscoso, Msc.  
**Director del Trabajo de Titulación**



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



.....  
Juan Diego Calvache Fajardo  
**Autor**



.....  
Pedro Esteban López Barreto  
**Autor**

## CAD INTEGRATION FOR A BI-PLAZA ELECTRIC VEHICLE CHASSIS

### ABSTRACT

Currently, engineering resources are made up of, among others, computer-aided design (CAD) systems, through three-dimensional tools that allow product design to promote simultaneous engineering and improve productivity. This helps vehicle design efficiently and reliably, especially by reducing design time, accelerating automation or improving the overall quality of CAD models. Thus, the present study proposes seven stages for the CAD integration of the various vehicle systems in a chassis. It contemplates the development of the concept, a codification, specification of each system and an assembly planning based on regulations and evaluation. The results show the integration of the suspension, brake, steering, propulsion and fairing systems in a chassis; concluding that the planning of the assembly reduces the time of the activities during the manufacture.

**Keywords-** tubular chassis, CAD assembly, electric vehicle design

Translated by Juan Calvache and Pedro Lopez



.....  
Eng. Francisco Torres Moscoso, Msc.  
**Thesis Director**



.....  
Eng. Robert Rockwood, Msc.  
**School Director**



.....  
Juan Diego Calvache Fajardo  
**Author**



.....  
Pedro Esteban López Barreto  
**Author**



# Integración CAD para un chasis de un vehículo eléctrico bi-plaza

## Resumen

En la actualidad, los recursos ingenieriles están conformados entre otros, por sistemas de diseño asistido por computador (CAD), a través de herramientas tridimensionales que permiten el diseño de productos para promover ingeniería simultánea y mejorar la productividad. Esto ayuda al diseño de vehículos de manera eficiente y fiable, especialmente al reducir el tiempo de diseño, acelerar la automatización o mejorar la calidad general de los modelos CAD. Así, el presente estudio propone siete etapas para la integración CAD de los diversos sistemas vehiculares en un chasis. Se contempla el desarrollo del concepto, una codificación, especificación de cada sistema y una planeación del ensamblaje basada en normativa y evaluación. Los resultados exponen la integración de los sistemas de suspensión, frenos, dirección, propulsión y carenado en un chasis; concluyéndose que la planificación del ensamblaje reduce el tiempo de las actividades durante la manufactura.

## Palabras clave

Chasis tubular, ensamble CAD, diseño de vehículo eléctrico

## Introducción

Los vehículos eléctricos constituyen una de las principales alternativas para la transición hacia fuentes energéticas amigables con el ambiente, además de presentar una eficiencia promedio tres veces superior que los vehículos con motores de combustión, poseen un sistema de generación y acumulación de energía eléctrica que es el punto neurálgico de su funcionamiento. Además, se cree que el vehículo eléctrico es una concepción de la tecnología moderna, aunque ha estado en el sector automotor por más de cien años (Sanz, 2016).

Es así como, el consumo de petróleo asociado al transporte en las últimas décadas vinculado con emisiones de gases de efecto invernadero, ha hecho que surjan numerosas regulaciones a nivel global para mitigar esta realidad (Uyaguari, 2020). Todo esto ha generado que los vehículos eléctricos incrementen su producción un 12% y sus ventas un 41% a escala global, especialmente en la última década ante la implementación de políticas públicas, estrategias comerciales y abaratamiento de componentes; sin descuidar la infraestructura de carga (Marchán y Viscidi, 2016). A raíz de esto, el diseño del vehículo y sus componentes son un factor preponderante para la introducción de prototipos, especialmente al aplicar la ingeniería de sistemas automotrices, o mejor dicho, la agrupación de varias disciplinas como la ingeniería de control, desarrollo de pruebas, desarrollo de ingeniería mecánica, hardware y software eléctrico y electrónico; hasta la ergonomía, fisiología humana y psicología. Estos aspectos hacen que la ingeniería de sistemas automotrices contenga un sinnúmero de principios que deben desarrollarse por varios grupos ingenieriles (Clarkson y Huntala, 2005).

En tal virtud, uno de los principales recursos ingenieriles son los sistemas de diseño asistido por computador o *Computer Aided Design* (CAD), actualmente con herramientas tridimensionales que permiten el diseño de productos para la ingeniería simultánea y para mejorar la productividad. De esto se deriva que las herramientas CAD mejoran sustancialmente el rendimiento del diseño, aunque el dominio de las habilidades es complejo y requiere de tiempo (Bodein et al., 2013). Sin embargo, los procesos CAD/CAE integrados permitieron el desarrollo basado en redes en la ingeniería automotriz. Se generaron prototipos virtuales, que reemplazaron al menos una generación de prototipos físicos. La aplicación de ingeniería virtual en el desarrollo completo de vehículos fomentó la colaboración mundial al reunir socios y mercados de diferentes países y regiones. En la actualidad, los proyectos de desarrollo de vehículos completos tardan cuatro años y la tendencia es hacia una disminución adicional (Hirz et al., 2017).

Todo esto hace que en el desarrollo automotriz, el diseño asistido por computadora (CAD) se utilice para realizar la definición geométrica del producto para proporcionar una base tridimensional para productos virtuales, haciendo que los modelos se construyan mediante la combinación de conjuntos principales, sub ensamblajes y componentes individuales, para acercar con precisión los modelos virtuales a las configuraciones de los productos físicos. En este proceso, las tareas de diseño se llevan a cabo usando técnicas paramétricas-asociativas, donde la implementación de directrices relacionadas con el proceso de diseño y pasos de procedimiento predeterminados específicos del proyecto (Hirz et al., 2013).

Así, en la actualidad se encuentran herramientas específicas para optimización de topología, simulación de productos, preparación de impresión y la simulación de procesos, haciendo que se consoliden las plataformas CAD integradas (Dalapadulo et al., 2020), en especial cuando hace poco, los prototipos todavía eran construidos artesanalmente a partir de planos dibujados a mano alzada. Por ello, el presente estudio se enfoca en la importancia del conocimiento, utilización y aplicación de la tecnología y sus herramientas, sobre todo al momento de trabajar con diseños para la integración CAD, la cual ha tenido avances significativos en diversas áreas, como lo es en la Ingeniería Mecánica.

En este sentido, al considerar que la Facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz de la Universidad del Azuay está desarrollando un proyecto sobre el diseño de un vehículo eléctrico biplaza, este estudio pretende desarrollar la metodología para realizar una integración CAD con todos los elementos. Con relación a esto, esta necesidad surge, ante la confidencialidad en la información que manejan los constructores automotrices, con lo cual, no se dispone de planos de ensamblaje de los componentes, lo que acarrea dificultades al momento de ejecutar el trabajo físico de armado

## Estado del arte

El desarrollo tecnológico actual ha provisto de numerosas herramientas para facilitar el diseño de sistemas y productos automotrices. Es así como los sistemas CAD pueden utilizarse para generar modelos con todas las características de un determinado producto. Por ejemplo, Alam et al., (2013) emplearon CATIA (Imágenes Tridimensionales Asistidas por Computadora), para mediante una aplicación interactiva, desarrollar un diseño que permita modelar y visualizar diseños candidatos. Así, los autores pudieron obtener formas reales de los componentes a bordo dibujadas antes del análisis, además de situar los componentes internos en sus ubicaciones, con base en estimaciones preliminares. En el mismo sentido, se automatizó el análisis CAD mediante una macro en VBScript, lo que permite tomar las ubicaciones de los componentes a bordo como entrada, para proporcionar un diseño de montaje y los criterios de rendimiento correspondientes, para el diseño detallado como salida.

Lo antes indicado, según Hirtz et al. (2013), busca obtener:

- Reducción del tiempo de diseño en todas las fases (conceptual, preliminar o detallado),
- Reutilizar geometría y modelos CAD existentes,
- Acelerar la automatización de las tareas rutinarias de diseño según aplicaciones de ingeniería basada en el conocimiento (KBE),
- Mejorar la colaboración entre diseñadores,
- Mejorar la calidad general de los modelos CAD.

Todo esto forma parte de la investigación orientada a enfoques de colaboración CAD, como lo describen Joung et al. (2009) y Martz (2009), para explorar la tecnología basada en web o la tecnología de transmisión 3D para mejorar colaboración entre diseñadores. En complemento, Hong et al. han propuesto otras investigaciones sobre recuperación y reutilización de geometría (Walker, 2006). El primero sugiere un algoritmo para comparar la similitud de las partes mecánicas con el fin de reutilizar piezas existentes en el proceso de diseño, mientras que la segunda sugiere un proceso automatizado que extrae y almacena subpartes de modelos CAD 3D en una biblioteca basada en semántica de diseño. La limitación de este segundo enfoque es que la extracción de subpartes es realizada en un modelo B-Rep y necesita volver a crear la función en formato paramétrico (modo interactivo). En todos los casos, no consideran aspectos de modelado o métodos para apoyar la reutilización de la geometría en un entorno industrial.

Desde otra perspectiva, Van der Meiden y Bronsvort (2010) y más recientemente Krish (2011) consideran algunos diseños paramétricos métodos y técnicas, así como nuevas soluciones de diseño, denominadas “método de diseño generativo”. Sin embargo, en este diseño generativo los métodos son difíciles de aplicar en la industria automotriz, especialmente para los proveedores, debido al alto nivel de restricciones y requisitos que limitan el espacio de solución de diseño. Con respecto a la integración del conocimiento y la automatización del diseño,

Danjou y Koehler (2007) observan el desarrollo de los sistemas CAD y analizan técnicas contemporáneas en CAD paramétrico como tecnología de características, interfaz de programación de aplicaciones (API) y pasos de diseño basados en el conocimiento (Ingeniería basada en el conocimiento— KBE). Se centraron en las pequeñas y medianas empresas (PYME) porque identificaron una falta general de estrategia en los procesos de desarrollo de productos virtuales en dichas empresas.

También, Lamarche y Rivest (2010) exploran diferentes personalizaciones de métodos para herramientas CAD con el fin de disminuir el tiempo de desarrollo de las actividades de diseño en el campo aeroespacial. Concluyen que para muchas actividades, el diseño a través de User Defined Feature (UDF) es una mejor inversión que la automatización. Danjou et al. (2008) completa el estudio anterior y explora la integración de conocimientos en la actividad de diseño utilizando características. Chu et al. (2006) proponen soluciones parametrizadas completas para automatizar el diseño de productos para la producción de moldes para neumáticos.

Como se puede ver en la fig. 1, el concepto virtual de un vehículo requiere de una serie de consideraciones, aunque Hirz et al. (2013) proponen cinco principales factores para el desarrollo interdisciplinario en la fase de desarrollo de concepto, basado en el relleno o embalaje, es decir, requisitos como las dimensiones principales del vehículo, condiciones de almacenamiento y espacios modulares; siendo importante también el estilismo que comprende la forma de las líneas y superficies exteriores. Igual importancia requiere la ergonomía, tanto del conductor como de los ocupantes; así como los requerimientos legales o normativa, especialmente sobre resistencia estructural o visibilidad. Finalmente, un aspecto de importancia es la funcionalidad del vehículo, basada en parámetros como geometría, peso y metadatos para los procesos de simulación (coeficientes dinámicos).

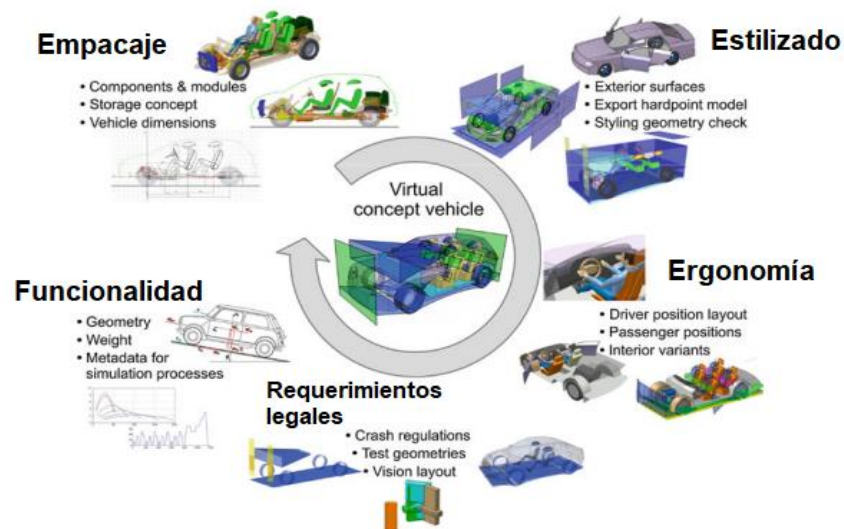


Fig. 1. Desarrollo del concepto virtual de un vehículo  
Fuente: (Hirz et al., 2013).

## Revisión de la literatura

Los sistemas de diseño asistido por ordenador CAD pueden utilizarse para generar modelos con todas las características de un determinado producto. Estas características son el tamaño, el contorno y la forma de cada componente almacenados como dibujos 2D y 3D. Estos sistemas ejecutan tareas adicionales de presentación y análisis del diseño como son simular su funcionamiento antes de su fabricación, verificar que no exista interferencias en los movimientos relativos de componentes, comprobar si una estructura es capaz de soportar una determinada carga e incluso el movimiento de un fluido en un determinado molde de fundición o inyección de plástico.

### Tipos

Los sistemas CAD se dividen principalmente en dos tipos: los modeladores en tres dimensiones (3D) y el software de dibujo en dos dimensiones (2D). Las herramientas utilizadas en 2D se fundamentan en formas geométricas vectoriales como arcos, líneas, puntos etc. Estas permiten operar mediante una interfaz gráfica. Mientras que los modeladores 3D viabilizan la definición de los objetos de forma espacial añadiendo superficies y sólidos (Eduardo y Diego, 2016).

### Diseño

Para iniciar el diseño de un vehículo, es necesario realizar el dibujo a través de bocetos para respaldar la actividad de estilo creada en un software. Es así como se describe el trabajo sobre croquis cartográficos. En ciertos casos, de debe realizar pruebas de convexidad, aunque las superficies focales son una nueva herramienta para analizar superficies y curvas de forma libre, demostrando las congruencias de línea que se utilizan para analizar la calidad de la superficie antes de enviar los datos a máquinas CNC. Con esta consideración, la fig. 2 expone la metodología para el desarrollo y diseño de conceptos con base CAD.



Fig. 2. Desarrollo del concepto virtual de un vehículo

Fuente: (Eduardo y Diego, 2016).

A raíz de esto, las desventajas del proceso de desarrollo de automóviles tradicionalmente son el tiempo necesario para realizar cambios y la incapacidad de modelos a escala para crear variantes del nuevo producto. Como el modelo conceptual puede ser visto sólo en la etapa final del proceso de diseño, realizar cambios en el modelo conceptual en la versión final etapas es difícil.

### Importación y alineación de bocetos

El primer punto para el desarrollo del concepto son los bocetos, los cuales ayudan a los diseñadores a llegar fácilmente a una etapa donde un diseño satisfactorio para especificar el desarrollo del diseño detallado. Los bocetos se importan al trazador de bocetos y deben alinearse de tal manera que las vistas sean reconocibles desde cualquier perspectiva. Por ello, los bocetos deben formar un cuadro delimitador, haciendo que el modelo (vehículo) se encuentre dentro del cuadro (fig. 3).

### Trazo de curvas

Una vez dispuestos los bocetos en un plano, la unión se hace mediante el trazo de curvas que mejor se acople a las formas dentro de los planos paralelos, empleándose el método de intersección

partiendo de puntos (fig. 4). De esto, se genera un grupo de curvas para un posterior análisis de calidad.

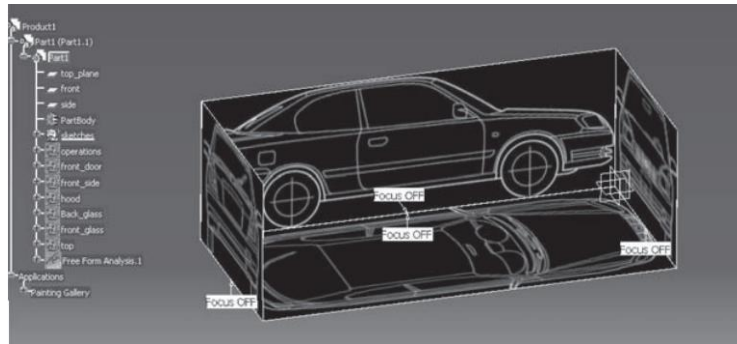


Fig. 3. Cuadro delimitador del boceto  
Fuente: (Vignash et al., 2015)

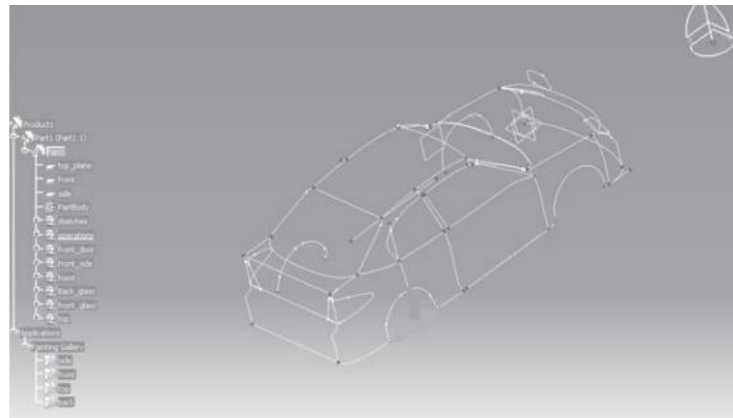


Fig. 4. Método de intersección  
Fuente: (Vignash et al., 2015)

### Análisis de curvaturas

Se dice que superficies correctas serán el resultado de curvas correctas, por lo que se debe analizar la calidad de las mismas. En este sentido, las proyecciones que generan las curvas en las superficies deben ser suaves, sino se debe hacer la traslación hasta evitar este conflicto (fig. 5).

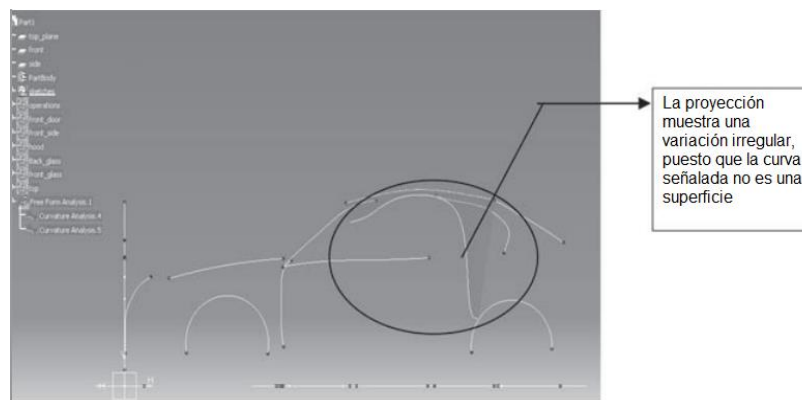


Fig. 5. Calidad de las curvaturas  
Fuente: (Vignash et al., 2015)

## Generación de superficies

Las superficies se generan a partir de las curvas como parches o llenado. Así, en la fig. 6 aparecen las superficies que representan un componente. Es necesario indicar que los espacios abiertos deben ser cuerpos separados para facilitar un nuevo estilizado.

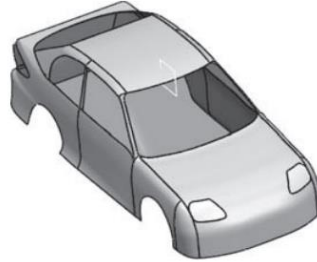


Fig. 6. Desarrollo de superficies  
Fuente: (Vignash et al., 2015)

## Análisis de superficies

Las superficies deben mantener alta calidad, por lo que es común usar isofotas (curva sobre una superficie iluminada que conecta puntos de igual brillo) y líneas de reflexión. Las isofotas permiten identificar la discontinuidad entre superficies, al resaltar el comportamiento de la forma cuando la luz se refleja en la superficie. Este el reflejo de la luz le da al usuario una comprensión sobre la discontinuidad de la curvatura. Mientras tanto, la reflexión debe ser natural, simplificada y debe tener uniformidad, haciendo que se evidencien discontinuidades en la curvatura y permitiendo ubicar abolladuras en las superficies. Las discontinuidades de curvatura se representan mediante gráficos de resaltado discontinuo. La fig. 7a muestra el gráfico de isofotas de uno de los modelos, mientras la fig. 7b indica el gráfico de líneas de reflexión en la superficie del vehículo.

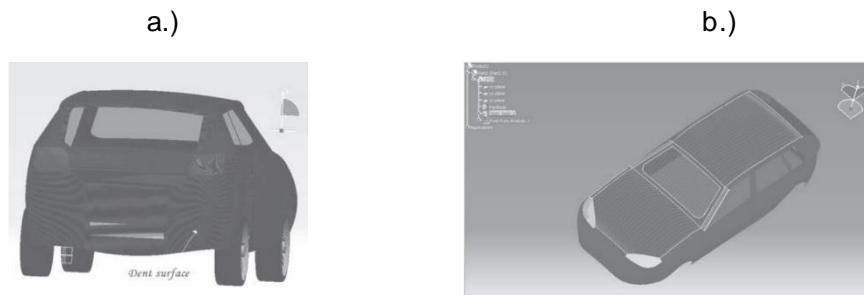


Fig. 7. a.) Isofota de un modelo, b.) líneas de reflexión  
Fuente: (Vignash et al., 2015)

## Renderizado

El renderizado permite mejorar la visualización de los modelos, haciendo que se reproduzcan condiciones lo más similares a la vida real, especialmente al ocupar entornos de realidad virtual (fig. 8).



Fig. 8. Renderizado del vehículo  
Fuente: (Vignash et al., 2015)

### Modelado y ensamblaje

Los sistemas se desarrollan y simulan conforme la dinámica del sistema completo del vehículo, mediante software de sistemas multicuerpo para el modelado y simulación de una gama de subsistemas de vehículos, en donde entra el chasis, el motor, la transmisión y las áreas de la carrocería. Para esto, como primer punto se requiere determinar los ejes de referencia para localizar el montaje de los componentes. Es decir, un plano coordenado en X, Y y Z que permita definir el conjunto de datos multicuerpo que describe el vehículo completo. De esta manera, se requiere conocer la velocidad de avance, la aceleración lateral, el ángulo de balanceo, el ángulo de inclinación o la tasa de guiñada (fig. 9).

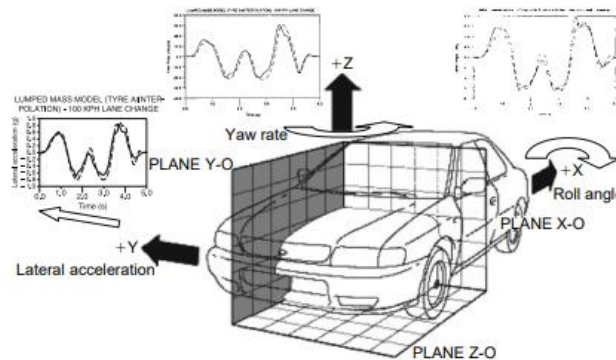


Fig. 9. Planos de referencia  
Fuente: (Hirz et al., 2017).

### Materiales y métodos

El presente estudio emplea la plataforma digital CAD para consolidar mediante esta herramienta los diversos sistemas de un vehículo eléctrico al chasis, específicamente los componentes mecánicos: motor, suspensión, frenos, dirección y la carrocería. Derivado de esto, se realiza la digitalización de la estructura según las dimensiones previamente establecidas en el proyecto integrador (2020), "Análisis de los modos de carga sobre la estructura tubular de un vehículo eléctrico biplaza mediante simulación computacional", en el que deberán ensamblarse los elementos del vehículo tales como: motor, baterías, puntos de apoyo, centro de gravedad masa, entre otros (Cuesta y Narvárez, 2021). En tal virtud, el diagrama de la fig. 10 expone la secuencia requerida para integrar al chasis mediante CAD, los diversos sistemas

vehiculares.

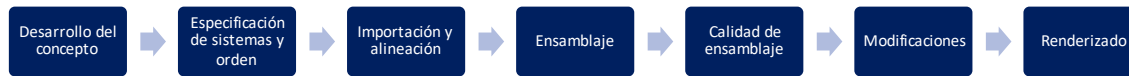


Fig. 10. Fases del estudio

**Desarrollo del concepto**

Es la primera fase del proceso de integración, y consiste en determinar el tipo de vehículo a desarrollar (todoterreno, SUV, prototipo), la normativa relacionada, el tipo de software CAD a emplear y condiciones generales como: ejes coordenados, peso bruto vehicular, centro de gravedad y dimensiones. La fig. 11 indica que un concepto debe estar marcado por el tipo de vehículo a construir, la normativa relacionada, el software a usar y ciertas características que intervienen en la dinámica.

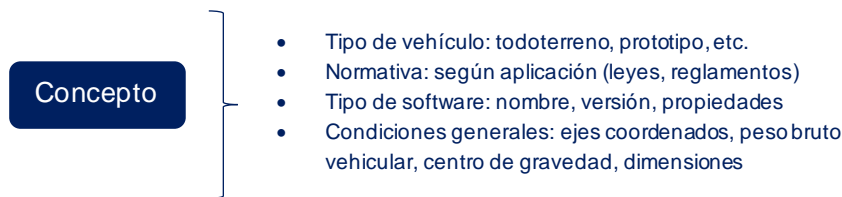


Fig. 11. Consideraciones para el concepto

**Especificación de sistemas y orden de ensamblaje**

Esta fase corresponde a la especificación de cada uno de los sistemas a integrar, es decir, el tipo y principales características. Esto será aplicable para: a) suspensión (sumados muelles y amortiguadores, b) frenos, c) tracción o propulsión, d) dirección, e) habitáculo, f) otros (elementos anexos como componentes eléctricos o electrónicos, paneles de instrumentos, espejos retrovisores, etc.). Para tal efecto, se codificará cada sistema según el orden de integración, para a su vez, registrar el número de elementos constitutivos por cada conjunto (tabla 1).

Tabla 1. Codificación de componentes

Código	Sistema	Componentes	Subcódigo
01	Suspensión	<ul style="list-style-type: none"> <li>Componente 1</li> <li>Componente 2</li> <li>Componente n</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>01*XC1</li> </ul>
02	Frenos		<ul style="list-style-type: none"> <li>01*XC2</li> </ul>
03	Tracción o propulsión		<ul style="list-style-type: none"> <li>01*XCn</li> </ul>
04	Dirección		
05	Otros		

\*La letra "X" se reemplazará por: S: Suspensión, F: Frenos, T: Tracción, D: Dirección, H: Habitáculo, O: Otros

En complemento, es necesario indicar las características como material, espesor, diámetro y otros requerimientos técnicos, según el componente (tabla 2).

Tabla 2. Propuesta para caracterizar elementos

Subcódigo	Material	Espesor	Diámetro	Otros
01XC1	Acero A36	3 mm	5 mm	Unión soldada (ejemplo)
01XCN	(ejemplo)	(ejemplo)	(ejemplo)	



## Importación y alineación

Esta fase consiste en realizar la importación de cada sistema vehicular previamente codificado al software CAD. Se deberá coordinar el eje o plano de referencia entre los sistemas a ensamblar y el elemento que se conecta. La fig. 12 indica que es necesario identificar el sistema, generar un eje o plano de referencia y especificar el elemento de conexión.

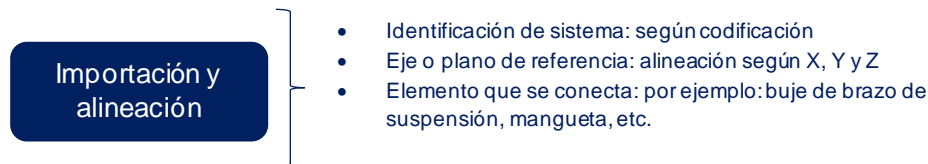


Fig. 12. Consideraciones para la importación y alineación

## Ensamblaje

Es la unión que se realiza entre dos o más sistemas, en un eje o plano referencial. Para tal efecto, deberá señalarse el tipo y forma de unión: por punto, por línea, por plano, por eje o por superficie. Asimismo, deberá indicarse el desfase en caso de existir. La fig. 13 muestra que en el ensamblaje se debe detallar el tipo y forma de unión, y especificar el desfase en caso de existir.

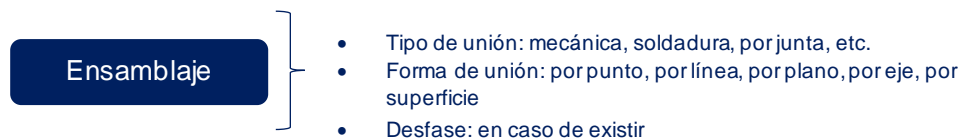


Fig. 13. Consideraciones para el ensamblaje

## Calidad de ensamblaje

La calidad de ensamblaje está basada en pruebas de funcionalidad, contacto entre componentes, desfases y otras anomalías que se presenten durante la simulación o comprobación. Para tal efecto, para cada ensamblaje debe señalarse un tipo de comprobación o simulación, con los resultados encontrados. La fig. 14 da a conocer que la calidad del ensamblaje depende del tipo de comprobación, si se han encontrado variaciones que afecten el funcionamiento del sistema vehicular, así como el desfase u otras anomalías.

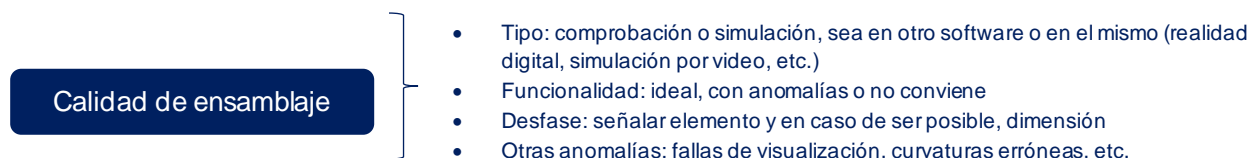


Fig. 14. Consideraciones para evaluar el ensamblaje

## Modificaciones

Son las variaciones que se deben dar al sistema o componente, para garantizar la calidad del ensamblaje. Dichas modificaciones pueden ser desde el diseño inicial (forma, geometría, funcionalidad), hasta la variación del ensamblaje (desfase, coincidencia de puntos, etc.).

## Renderizado

Es el proceso que permite obtener imágenes digitales tomadas de un modelo tridimensional, para conocer

de manera realista el resultado del modelo. De esta forma, se podrá verificar finalmente los detalles y la calidad del acabado.

## Resultados

Según la metodología expuesta previamente, a continuación, serán detallados los resultados obtenidos para cada fase.

### Desarrollo del concepto

Como se indica en la tabla 3, los parámetros obtenidos corresponden al desarrollo de un vehículo prototipo eléctrico, sin regirse a una normativa específica; el que fue diseñado en el software Solidworks.

Tabla 3. Elementos para el desarrollo del concepto

Elemento	Especificación	Otras características
Tipo de vehículo	Prototipo eléctrico	Biplaza, de propulsión
Normativa	Ninguna en particular	Si se desea que circule, basarse en la normativa INEN 2656. ASME Y14.41, ISO 24351.
Software	Para el modelado 3D: Solidworks	-
Condiciones generales	Peso bruto vehicular: 600 kg Dimensiones: 3 360 mm x 1 770 mm Tubos del chasis: espesor= 3 mm x 2 mm (largueros x principales), diámetro= 60 mm x 38 mm (largueros x principales), material=acero A36	Normativa uniones: SAE J429,AWS D8.8

### Especificación de sistemas y orden de ensamblaje

La tabla 4 da a conocer los componentes para cada sistema del vehículo con la respectiva codificación.

Tabla 4. Codificación de componentes

Código	Sistema	Componente	Subcódigo
01	Suspensión	Brazo superior	01SC1
		Brazo inferior	01SC2
		Barra push	01SC3
		Amortiguador	01SC4
02	Frenos	Mangueta+ mordaza	02FC1
03	Propulsión	Motor	03TC1
		Semieje 1	03TC2
		Semieje 2	03TC3
04	Dirección	Tirantería de la dirección	04DC1
		Volante	04DC2
05	Otros	Carenado	05OC1
		Alerón delantero	05OC2
		Alerón posterior	05OC3

Así también, para cada elemento constitutivo de los sistemas del vehículo, en la tabla 5 aparecen las características de material, espesor y diámetro.

Tabla 5. Propiedades de los elementos

Código	Material	Diámetro/espesor
01SC1	Acero A36	D=19 mm, e=1,5 mm
01SC2		
01SC3		
01SC4		
03TC2		D=20 mm, e=1,5 mm
03TC3		D=19 mm, e=1,5 mm
04DC2		
05OC1	Fibra de vidrio	e=2 mm
05OC2, 05OC3		e=2,5 mm

### Importación y alineación

Como puede verse en la fig. 15, fueron establecidos los ejes coordenados en X, Y y Z para la importación y alineación de los sistemas. El punto inicial o (0,0,0) fue seleccionado en el centro de gravedad del vehículo. Posteriormente, de manera secuencial (fig. 16) se procedió a importar cada sistema vehicular, para su alineación conforme los puntos de anclaje. De este modo, el sistema de suspensión se ancla mediante bujes al chasis. El sistema de frenos está basado en discos, por lo que se acopla en manguetas por cada rueda. El sistema de dirección cuenta con un varillaje para el accionamiento de las ruedas delanteras desde el volante, mientras el motor está situado en la parte posterior (propulsión).

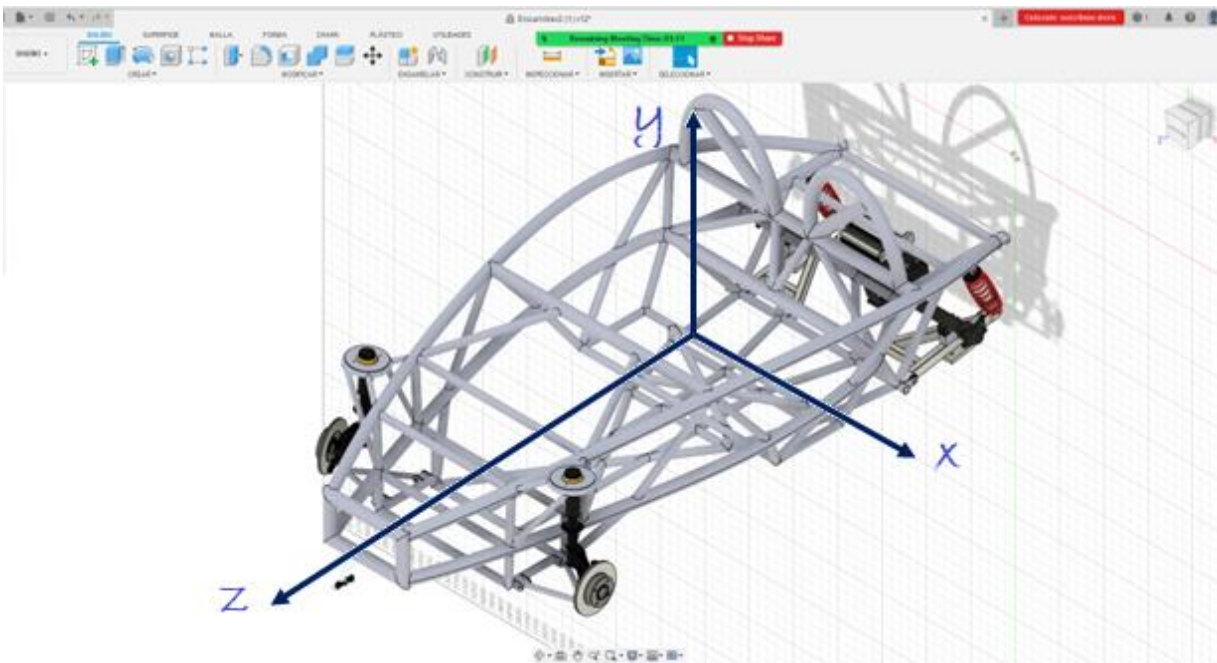


Fig. 15. Establecimiento de ejes coordenados

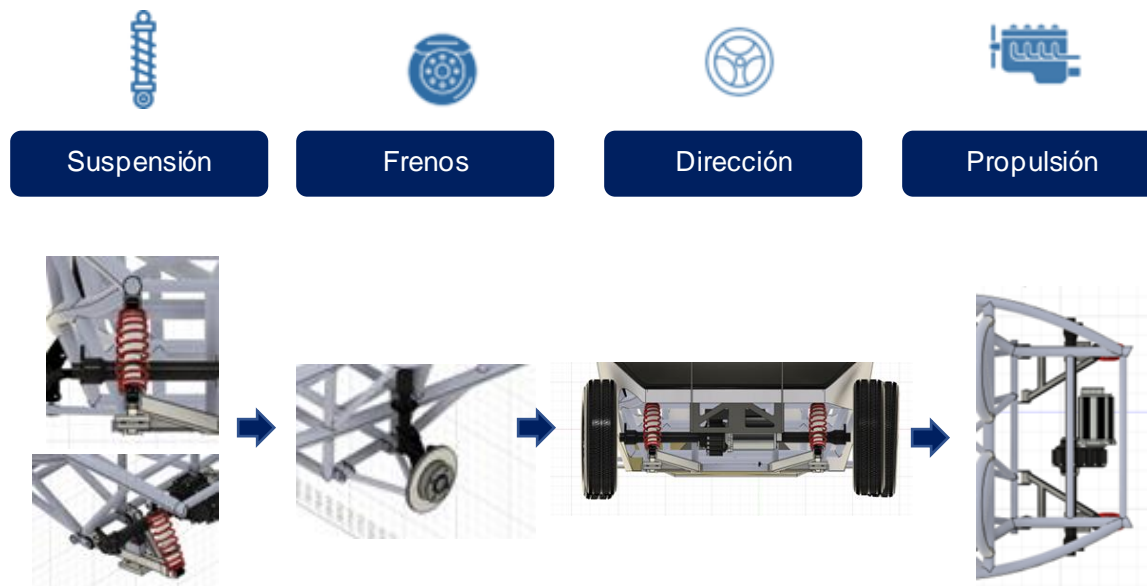


Fig. 16. Secuencia de importación

### Ensamblaje

Una vez realizada la importación y alineación, se procedió a realizar el ensamblaje de los componentes. Es así como, se contempló la siguiente normativa para los diversos tipos de uniones:

ASME Y14.41: Esta norma define excepciones y requisitos adicionales a las normas ASME existentes para conjuntos de datos digitales de definición de producto o dibujos ficha gráfica en formato digital,

AWS D8.8: Para uniones soldadas de uso automotriz.

SAE J429: Esta norma expone los requisitos mecánicos y de materiales para uniones por pernos en pulgadas utilizados en la industria automotriz y afines en diámetros de hasta 1-1/2".

En consecuencia, puede verse el ensamblaje de todos los componentes. Primero, se realizó el ensamblaje de los sistemas internos (fig.17), alineándose el elemento a conectar mediante coincidencia por puntos.

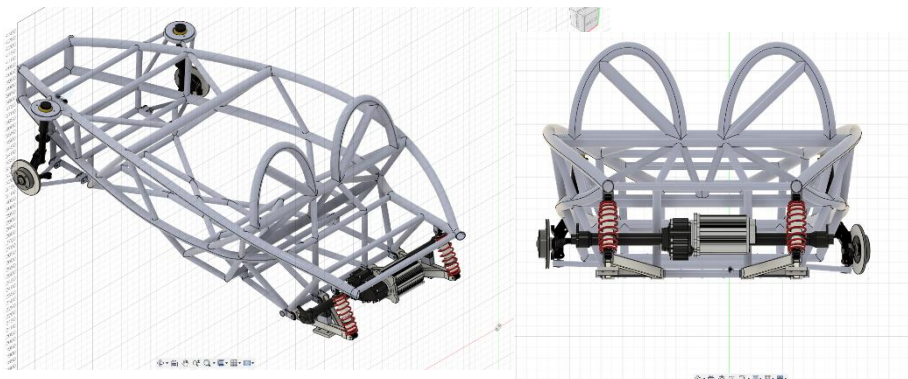


Fig. 17. Ensamblaje de sistemas internos

Posteriormente, se incorporó el carenado y detalles finales como los alerones, aros y neumáticos (fig. 18).

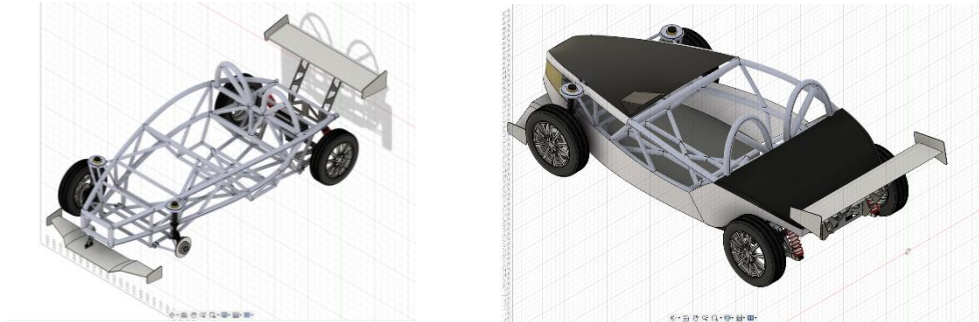


Fig. 18. Carenado y alerones

### Calidad de ensamblaje

La calidad del ensamblaje fue comprobada en el software Solidworks, verificándose que no exista desfase en la alineación de los elementos, o que su localización genere choques no deseados entre componentes. De igual manera, fueron incorporadas restricciones de movimiento en ciertos ejes dependiendo del componente, haciendo que el elemento cumpla su funcionalidad. Dentro de las principales anomalías, se encontró rozamiento entre el eje propulsor y el carenado. En tal virtud, se procedió a verificar los puntos de anclaje y la geometría de los elementos. Igualmente, como se indica en la fig. 19, la visualización de los elementos debía guardar simetría en cuanto a forma, coloración y alineación.

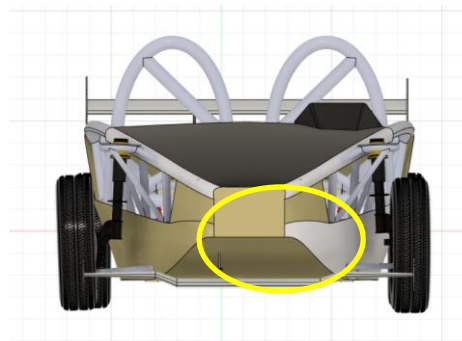


Fig. 19. Variación de color en una zona

### Modificaciones y renderizado

Una vez identificadas las anomalías antes descritas, se procedió a modificar la geometría y modelado tridimensional de los componentes. Esta acción permitió retomar la funcionalidad del conjunto, haciendo que se obtenga el producto final tal como se indica en la fig. 20.

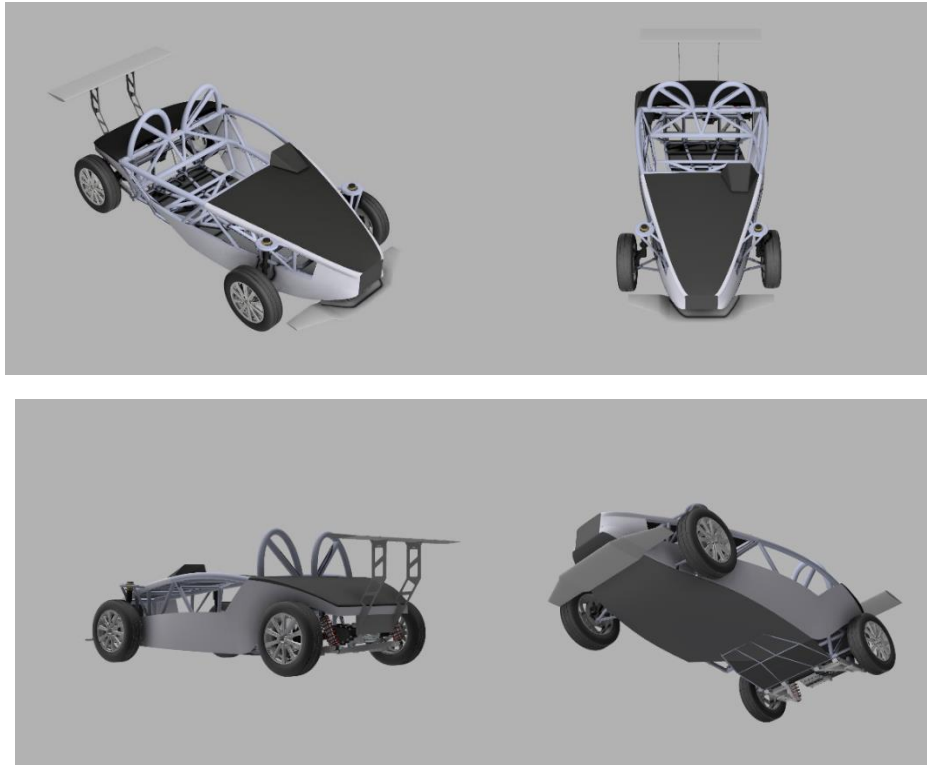


Fig. 20. Vistas del vehículo renderizado

## Conclusiones y discusión

El presente estudio planteó siete etapas para la consolidación CAD de un chasis, siendo necesario partir de la definición de un concepto por parte del equipo de diseño. Es decir, se debe especificar el tipo de vehículo, la normativa requerida y las principales características, puesto que estos parámetros permitirán que las próximas fases se acoplen a estos requerimientos mediante la planificación de procesos, ejecución de presupuestos o planeación de equipamiento.

Además, la especificación de cada sistema permite conocer el número de elementos constitutivos y sus características de funcionalidad, especialmente sobre las pruebas de convexidad. En concordancia, la determinación de los ejes de referencia permite ordenar el montaje de los componentes a través de un plano coordenado en X, Y y Z que permite definir el conjunto de datos multicuerpo.

Otro punto de interés es la codificación de los sistemas y los elementos constitutivos, puesto que se facilita un esquema de conectividad para realizar el proceso con orden, secuencialidad y eficiencia. También se debe indicar que, si bien este proceso no contempló una normativa en específico, se basó en la referencia ASME Y14.41 para la visualización y alineación de los elementos (fig. 21).

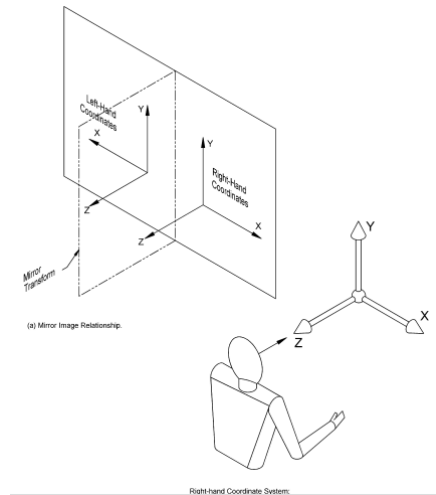


Fig. 21. Proyección de ejes según ASME Y14.41  
Fuente: (ASME, 2019)

En consecuencia, todos los sistemas vehiculares fueron integrados satisfactoriamente, comprobándose la funcionalidad y la factibilidad para su manufactura, especialmente al contarse con datos multicuerpo que permiten obtener el detalle del material, diámetro, espesor o tipo de unión; así como generar los planos con especificaciones dimensionales. También es importante indicar que las estructuras creadas contienen enlaces entre los componentes individuales y sus relaciones entre sí, por lo que una estrategia de diseño orientada al ensamblaje en la ingeniería automotriz se basa en una división de la estructura del producto en varios subensamblajes, lo que permite un fácil examen de los componentes posiciones e intersecciones.

Una tendencia en la industria del software va en la dirección de paquetes integrados, que combinan programas de diseño (CAD) y software de simulación (CAE) en el mismo ambiente. Hoy en día, la investigación y el desarrollo de la fabricación tienen una orientación experimental. La visión para el futuro incluye el uso de modelos de proceso y herramientas de simulación para optimizar el ensamblaje en las primeras fases, mientras se eliminan todos los fenómenos del proceso y las correlaciones de factores influyentes y características de salida, en base al profundo conocimiento científico del proceso. Se está investigando la integración de sistemas de gestión del ciclo de vida del producto (PLM) con metodologías CAD, diseño para ensamblaje (DFA) y análisis de capacidad de fabricación asistido por computadora para acoplar la arquitectura del producto con las especificaciones del proceso de ensamblaje.

Finalmente, es necesario plantear una hoja de ruta para la eficiencia de CAD en la industria automotriz, mediante las fases: a) Fase de estandarización: consistente en definir un entorno y prácticas CAD comunes para todos los diseñadores, definir criterios mínimos de calidad de datos CAD y asegurar la compatibilidad de la estructura de datos CAD con el sistema PLM (capacidad de integración CAD), b) Metodología avanzada, según la optimización de prácticas de modelado en base a las características de cada componente, y mejora de la interoperabilidad y el intercambio entre otras herramientas de la cadena de diseño y el entorno PLM (es decir, herramientas de simulación), c) Diseño basado en el conocimiento, donde se integre el conocimiento dentro de los modelos CAD, sean creadas funciones 3D genéricas incorporando conocimientos y se desarrollen modelos de diseño generativo/modelos expertos en productos, d) Verificaciones de reglas de expertos o asegurar el cumplimiento del diseño con los estándares y normas, así como acelerar la automatización.

## Referencias bibliográficas

- Alam, K., Ray, T. y Sreenatha G. (2013). Design and construction of an autonomous
- ASME. (2019). Digital Product Definition Data Practices. Y14.41. Norma técnica. <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/y14-41-digital-product-definition-data-practices>
- AWS. (2021). Specification for Automotive Weld Quality—Arc Welding of Steel. Norma técnica. [https://pubs.aws.org/Download\\_PDFS/D8\\_8M\\_2021\\_PV.pdf](https://pubs.aws.org/Download_PDFS/D8_8M_2021_PV.pdf)
- Bader, J., Zitzler, E. (2011). HypE: An algorithm for fast hypervolume-based many-objective optimization, *Evolutionary Computation* 19 (1). 45–76.
- Bodein, Y., Bertrand R., Caillaud, E. (2013). A roadmap for parametric CAD efficiency in the automotive industry. *Computer-Aided Design* 45. 1198–1214
- Bradley, A., Feezor, M., Singh, H., Sorrell, F. (2001). Power systems for autonomous underwater vehicles, *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 26 (4). 526–538.
- Chu C., Song, M., Luo (2010). Computer aided parametric design for 3D tire mold production. *Computers in Industry*. 57:11–25.
- Clarkson, J y Huhtala, M. (2005). *Engineering Design: Theory and Practice*.
- Dalpadulo, E., Pini, F y Leali, F. (2020). Integrated CAD platform approach for Design for Additive Manufacturing of high performance automotive components. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. <https://doi.org/10.1007/s12008-020-00684-7>.
- Danjou S, Koehler P. Challenges for design management. *Computer-Aided Design and Applications* 2007;4:109–16.
- Danjou S, Lupa N, Koehler P. Approach for automated product modeling using knowledge-based design features. *Computer-Aided Design and Applications* 2008;5:622–9.
- Hirz, M., Rossbacher, P., y Gulánová, J. (2017): Future trends in CAD – from the perspective of automotive industry, *Computer-Aided Design and Applications*, DOI: 10.1080/16864360.2017.1287675
- Joung, T., Sammut, K., He, F. Lee, S. (2010). A study on the design optimization of an AUV by using computational fluid dynamic analysis, in: *Proceedings of the Nineteenth (2009) International Offshore and Polar Engineering Conference*, Osaka, Japan. pp. 696–702.
- Krish S. A practical generative design method. *Computer-Aided Design* 2011; 43:88–100.
- Lamarche B, Rivest L. Dynamic product modeling with inter-features associations: comparing customization and automation. *Computer-Aided Design and Applications* 2007;4:877–86
- Marchán, E., y Viscidi, L. (2016). Informe de energía. Transporte verde: perspectivas para vehículos eléctricos en América Latina. El Diálogo: *Liderazgo para las Américas; BMW*. <https://www.thedialogue.org/wp-content/uploads/2015/10/ID-Transporte-verde-Perspectivas-paraveh%C3%ADculos-el%C3%A9ctricos-en-Am%C3%A9rica-Latina.pdf>



- Martz, M., Neu, W. (2009). Multi-objective optimization of an autonomous underwater vehicle, *Marine Technology Society Journal* 43 (2). 1–9.
- Ray, T., Singh, H., Isaacs, A., Smith, W. (2009). Infeasibility driven evolutionary algorithm for constrained optimization, in: E. Mezura-Montes (Ed.), *Constraint-Handling in Evolutionary Optimization*, Vol. 198 of Studies in Computational Intelligence, Springer Berlin Heidelberg. pp. 145–165.
- SAE. (2014). Mechanical and Material Requirements for Externally Threaded Fasteners. [https://www.sae.org/standards/content/j429\\_201405/](https://www.sae.org/standards/content/j429_201405/)
- Sanz, I. (2015). Análisis de la evolución y el impacto de los vehículos eléctricos en la economía europea. Tesis. Universidad Pontificia Comillas. Madrid. España.
- Shah, p. (2007). *Design considerations for engineering autonomous underwater vehicles*, Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology. 48
- Singh, H., Isaacs, A., Nguyen, T., Ray, T., Yao, X. (2015). Performance of infeasibility driven evolutionary algorithm (IDEA) on constrained dynamic single objective optimization problems, in: *Evolutionary Computation .CEC '09*, IEEE Congress on. pp. 3127–3134. 50
- Uyaguari, A. (2020). Análisis del requerimiento operativo y legal para los vehículos eléctricos en el Distrito Metropolitano de Quito, DMQ. Tesis de pregrado. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Vignesh, R., Suganthan, R. y Prakasan, K. (2015). Development of CAD models from sketches: a case study for automotive applications. *Proc. IMechE Vol. 221 Part D: J. Automobile Engineering*. DOI: 10.1243/09544070JAUTO331
- Walker, D. (2006). Micro autonomous underwater vehicle concept for distributed data collection, in: *OCEANS 2006 IEEE*. pp. 1–4.