

DISEÑO DE UN VTE ECONÓMICO Y EFICIENTE PARA LA IV COMPETENCIA  
NACIONAL DE VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ELÉCTRICA

PASCUAL JOSÉ SUÁREZ CUADRADO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MONTERÍA  
2024

DISEÑO DE UN VTE ECONÓMICO Y EFICIENTE PARA LA IV COMPETENCIA  
NACIONAL DE VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ELÉCTRICA

PASCUAL JOSÉ SUÁREZ CUADRADO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

KATERIN OSORIO BARRERA  
INGENIERA MECÁNICA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MONTERÍA  
2024

## **DEDICATORIAS**

Dedicado a las personas que me han acompañado incondicionalmente en todo este proceso de formación académica y personal, a mis padres Luz Estella cuadrado y Pascual Suárez Otero por su entrega y Sacrificio, a mi hermana Shirly Suárez Cuadrado y mi hija Sara Suárez Peña por su apoyo incondicional y sin medida.

## **ÍNDICE:**

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUCCIÓN:</b> .....                              | <b>8</b>  |
| <b>1.1</b> | <b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN</b> ..... | <b>8</b>  |
| <b>1.2</b> | <b>OBJETIVOS</b> .....                                  | <b>9</b>  |
| 1.2.1      | GENERAL .....   | 9         |
| 1.2.2      | ESPECÍFICOS .....                                       | 9         |
| <b>2</b>   | <b>MARCO TEÓRICO/ESTADO DEL ARTE:</b> .....             | <b>10</b> |
| <b>2.1</b> | <b>MARCO TEÓRICO</b> .....                              | <b>10</b> |
| 2.1.1      | VEHÍCULO DE TRACCIÓN ELÉCTRICA (VTE) .....              | 10        |
| 2.1.2      | FRENOS .....  | 18        |
| 2.1.3      | EFICIENCIA Y AUTONOMIA EN VTE .....                     | 20        |
| 2.1.4      | ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE COMPETENCIA .....          | 20        |
| 2.1.5      | TEORÍAS DE FALLA .....                                  | 29        |
| 2.1.6      | CASA DE CALIDAD (QFD): .....                            | 32        |
| <b>2.2</b> | <b>ANTECEDENTES</b> .....                               | <b>36</b> |
| <b>3</b>   | <b>METODOLOGÍA</b> .....                                | <b>38</b> |
| <b>3.1</b> | <b>ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS DE DISEÑO</b> .....     | <b>39</b> |
| <b>3.2</b> | <b>DEFINICIÓN DEL DISEÑO CONCEPTUAL</b> .....           | <b>41</b> |
| <b>3.3</b> | <b>DISEÑO A DETALLE</b> .....                           | <b>42</b> |
| 3.3.1      | Plano de ensamble .....                                 | 42        |
| 3.3.2      | Plano de fabricación .....                              | 42        |
| 3.3.3      | Presupuesto .....                                       | 42        |
| <b>4</b>   | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....                     | <b>43</b> |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>4.1</b> | <b>Etapa 1: Criterios de diseño .....</b>            | <b>43</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Etapa 2: Diseño conceptual .....</b>              | <b>49</b> |
| 4.2.1      | Análisis de velocidad y autonomía del vehículo ..... | 55        |
| <b>4.3</b> | <b>Etapa 3: planos a detalle y presupuesto.....</b>  | <b>57</b> |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: .....</b>         | <b>60</b> |
| <b>6</b>   | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                            | <b>61</b> |
| <b>7</b>   | <b>ANEXOS.....</b>                                   | <b>63</b> |

## **RESUMEN**

La siguiente investigación propone diseñar un vehículo de tracción eléctrica (VTE) económico y eficiente para la IV competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica. En el cuerpo del trabajo se encuentra información teórica y una revisión bibliográfica de la literatura relacionada con el tema en el apartado de marco teórico; cuenta con una metodología basada en el diseño centrado en el usuario, tomando como usuario la competencia y sus reglas, para lo cual se establecen criterios de diseño que ponderan la economía y la eficiencia, y se define un diseño conceptual que se valida mediante simulación en el software SolidWorks®2023. Se obtuvo el diseño de un vehículo eléctrico que además de cumplir con el reglamento de la competencia puede llegar a tener una velocidad de hasta 10 m/s con autonomía de 2 a 3 horas. A la hora de ser simulado tuvo deformaciones menores a un milímetro con esfuerzos máximos de hasta 6.39 MPa y un costo de poco menos de \$2400 USD, el cual al ser comparada con los precios promedios de vehículos eléctricos es 22 veces más económico.

## **ABSTRACT**

The following research proposes to design an economical and efficient electric traction vehicle (ETV) for the IV National Electric Traction Vehicle Competition. The body of the work includes theoretical information and a literature review related to the topic in the theoretical framework section. The methodology is based on user-centered design, taking the competition and its rules as the user, establishing design criteria that prioritize economy and efficiency. A conceptual design is defined and validated through simulation in SolidWorks®2023 software. The resulting design is an electric vehicle that, in addition to complying with the competition regulations, can reach speeds of up to 10 m/s with an autonomy of 2 to 3 hours. When simulated, it had deformations of less than one millimeter with maximum stresses of up to 6.39 MPa and a cost of just under \$2400 USD, which, when compared to the average prices of electric vehicles, is 22 times more economical.

## 1 INTRODUCCIÓN:

Desde hace algún tiempo la tendencia energética global está experimentando una importante transformación, y el futuro del transporte no solo impulsará el desarrollo sostenible monitoreando las emisiones producto de los vehículos, sino que también las minimizará a su máximo posible. Es por esto por lo que los vehículos eléctricos influirán sustancialmente en las tendencias de consumo energético cuando se deba abordar los posibles riesgos medioambientales. En Colombia la compra de vehículos eléctricos en el primer trimestre del 2023 aumento en un 19,4% respecto al mismo periodo del año anterior, como se indica en el “*Boletín vehículos nuevos hasta marzo 2023*” (FENALCO & ANDI, 2023), lo cual indica que la acogida de estos vehículos está creciendo junto con la tendencia global de una transición energética. Los vehículos eléctricos no producen emisiones de CO<sub>2</sub> durante su operación, pero si lo hacen durante su fabricación, pues la extracción de materiales como el litio, el cobalto y el níquel generan emisiones. Sin embargo, un estudio del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia titulado “*Radiografía del sector automotor colombiano 2023.*” encontró que “*un vehículo eléctrico compensa sus emisiones de producción en aproximadamente 2 años de uso*” (Asociación Nacional de Movilidad Sostenible (ANDEMOS), 2023). Esta propuesta busca desarrollar el diseño de un vehículo de tracción eléctrica económico y eficiente para la IV competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica.

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Dentro del mundo de la ingeniería, eventos académicos y competitivos ponen a prueba las habilidades y conocimientos de quienes participan de estos al tiempo que desarrollan experiencias prácticas fundamentales para la formación profesional. En el caso particular de las competencias de vehículos eléctricos se ve implicado un proceso de aprendizaje continuo que abarca desde el diseño mecánico, selección de materiales y componentes hasta el diseño del sistema eléctrico, la aerodinámica y el sistema de energía. En este contexto el diseño de un VTE económico y eficiente para la IV competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica supone una oportunidad para desarrollar y aplicar conocimientos inherentes a la ingeniería.

Ahora bien, según FENALCO & ANDI, 2023 en Colombia durante el año 2023 se vendieron más de 235.600 vehículos de combustión interna y cada uno de estos emite a la atmósfera cerca de 140 kg de CO<sub>2</sub> por cada 1000 km, lo que supone un 75% más emisiones que el generado por los vehículos eléctricos durante su fabricación, como lo explica ANDEMOS (2023), lo cual deja en evidencia la problemática ambiental que los vehículos a base de gasolina desencadenan, pero también la alternativa sostenible a estos. Por lo tanto, incentivar el uso y desarrollo de vehículos eléctricos, económicos y eficientes a través de espacios académicos o competitivos radican su importancia en el impacto ambiental que estos suponen, además del fortalecimiento de las competencias y habilidades propuestas por la malla curricular de la carrera.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 GENERAL**

Diseñar un vehículo de tracción eléctrica que cumpla con el reglamento de la IV competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica.

### **1.2.2 ESPECÍFICOS**

- Establecer criterios de diseño según el reglamento de la IV competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica.
- Diseñar conceptualmente un VTE que sea económico y eficiente y simular sus elementos críticos según el criterio de falla de Von mises.
- Crear diseño de detalle del VTE estableciendo elementos comerciales para su construcción.

## 2 MARCO TEÓRICO/ESTADO DEL ARTE:

Para el desarrollo del proyecto se hace necesario abordar con cuidado el área conceptual debido a los múltiples conceptos que se relacionan entre si al momento iniciar con el diseño y validación del vehículo. Debido a lo anterior se llevará a cabo primero una revisión conceptual de aquellos términos relevantes para el desarrollo del proyecto seguido de una evaluación del estado del arte correspondiente que sea capaz de dar aportes útiles al proyecto.

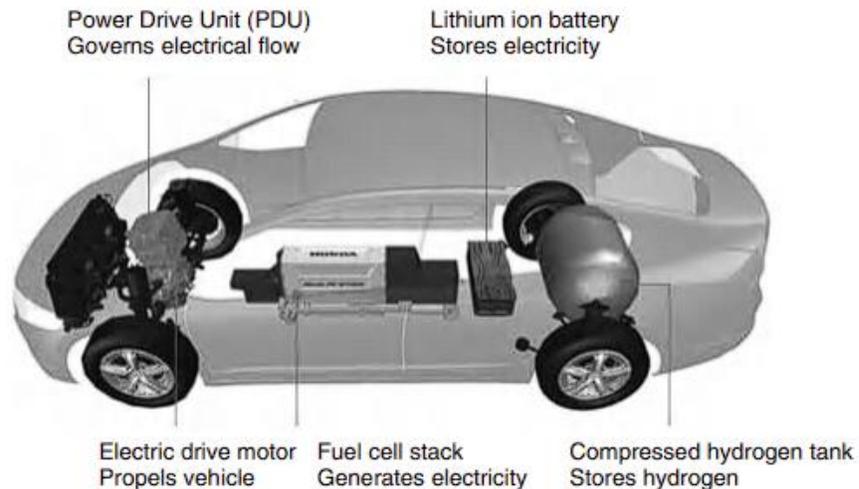
### 2.1 MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1 VEHÍCULO DE TRACCIÓN ELÉCTRICA (VTE)

En el libro “Electric Vehicle Technology Explained” los autores (Larminie & Lowry, 2020) definen a un vehículo de tracción eléctrica (VTE) como aquel que se caracteriza por reemplazar los motores de combustión interna por uno a más motores eléctricos para poder propulsarse.

**Figura 1**

Ejemplo de vehículo de tracción eléctrica (VTE)



Nota: Disposición básica para el Vehículo eléctrico Honda FCX Clarity.  
Fuente: Larminie & Lowry (2020)

### 2.1.1.1 CHASIS:

Es la estructura principal de un vehículo, soporta todos los demás componentes, como lo es el motor, la transmisión, la suspensión, la carrocería y los pasajeros. Es la base sobre la que se ensambla el vehículo y proporciona rigidez, resistencia y estabilidad, razón por la cual un diseño que garantice seguridad y rigidez es de suma importancia. (Palencia, 2020). Hoy día este tipo de vehículos han tomado cierta popularidad en el mercado automotriz debido a los aportes y beneficios que brindan al usuario y al medio ambiente, entre los que se enumeran su funcionamiento silencioso y suave, posee fuente de energía limpia, tiene menos piezas en comparación a los de combustión interna, su mantenimiento es simple, genera cero emisiones contaminantes durante su operación, es respetuosos con el ambiente, entre otros. Existen diferentes tipos de chasis según su estructura, materiales o funcionalidad, sin embargo, se pueden clasificar de la siguiente forma:

**Chasis de bastidor:** Es el tipo más común de chasis, y consiste en una estructura de acero o aluminio que soporta todos los componentes más importantes del vehículo como el motor, la transmisión, los frenos, entre otros:

#### Figura 2

Chasis bastidor



Nota: Ejemplo de chasis de tipo bastidor en un vehículo  
Fuente: Central de Repuestos TR

**Chasis monocasco:** Es el tipo de chasis más resistente y ligero, y está hecho en una sola pieza de metal o material compuesto, es el más común en la automotriz.

### Figura 3

Chasis tipo monocasco



Nota: Ejemplo de chasis tipo monocasco en un vehículo común  
Fuente: Pruebaderuta.com

**Chasis tubular:** Es un tipo de chasis utilizado en vehículos todoterreno y deportivos, y está hecho de tubos de acero o aluminio soldados entre sí Givens (2022).

### Figura 4

Chasis de tipo modular



Nota: Chasis del prototipo BMW E 30 325  
Fuente: Menosfutbolmascarreras.es

#### 2.1.1.2 BATERIAS DE LITIO-ION:

En la tesis "Análisis del comportamiento electroquímico de las baterías de litio-ion para su aplicación en vehículos eléctricos" de la Universidad Politécnica de Madrid (2023)

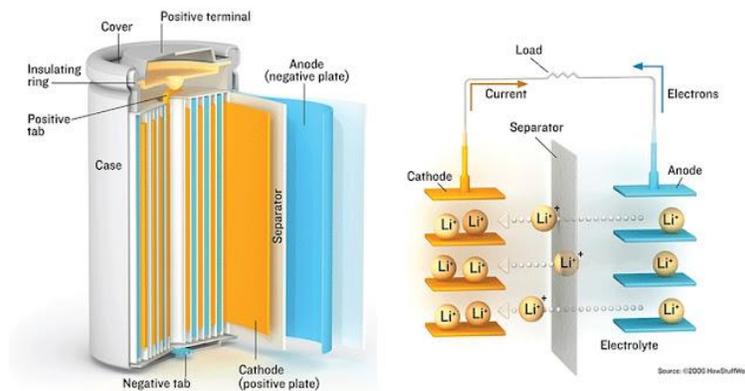
se define a una batería de litio como un dispositivo electroquímico que almacena energía mediante el intercambio de iones de litio entre dos electrodos: un ánodo y un cátodo. Funciona de tal forma que al conectar la batería los iones de litio empiezan a moverse desde el ánodo hacia el cátodo por medio un electrolito, dando paso a una diferencia de potencial que produce la corriente, ahora bien, cuando la batería se recarga los iones de litio regresan al ánodo.

Estas baterías están hechas de diferentes componentes, cuyos materiales en específicos permiten su funcionamiento:

- Ánodo: normalmente suele ser de grafito.
- Cátodo: suele ser una aleación de litio.
- Electrolito: comúnmente es una sal de litio disuelta en un solvente orgánico.
- Separador: generalmente es un polímero poroso.

### Figura 5

Batería comun de ion-litio



Nota: Componentes de una batería de litio.  
Fuente: (González, 2021)

Este tipo de baterías presentan características que las hacen atractivas para su aplicación en vehículos eléctricos, razón para la cual su uso y reutilización ha sido el foco de múltiples estudios e investigaciones:

### Tabla 1

## Ventajas de las baterías de Litio-Ion

| Característica           | Definición  | Ventaja para vehículos eléctricos   |
|--------------------------|---|---|
| Alta densidad de energía | Pueden almacenar una gran cantidad de energía en un volumen y peso reducidos.             | Permite aumentar la autonomía del vehículo sin necesidad de baterías pesadas y voluminosas.     |
| Larga vida útil          | Poseen la capacidad de durar muchos años antes de necesitar ser reemplazadas.             | Reduce los costes de mantenimiento de los vehículos eléctricos.                                 |
| Tiempos de carga rápidos | Las baterías de ion-litio se pueden cargar relativamente rápido debido a sus componentes. | Hace que los vehículos eléctricos sean más prácticos para su uso diario.                        |
| No contaminan            | No emiten gases nocivos a la atmósfera durante su operación.                              | Convierte a los vehículos eléctricos en una opción más ecológica que los de combustión interna. |

### 2.1.1.3 LLANTAS

Las llantas son un componente fundamental de los vehículos, ya que son las que permiten el contacto con la superficie de la carretera y proporcionan tracción, frenado y control de la dirección. La elección del tipo de llanta adecuado es crucial para garantizar el rendimiento, la seguridad y la comodidad del vehículo. Estas se clasifican en diferentes tipos.

**Llantas Radiales:** Las llantas radiales son la mejor opción para la mayoría de los conductores que buscan una conducción eficiente, cómoda, segura y de alto rendimiento. Ofrecen una amplia gama de beneficios que las convierten en la elección ideal para vehículos modernos y diversas condiciones de conducción (Ver figura 6).

**Llantas Diagonales:** Las llantas diagonales son menos comunes que las llantas radiales, pero todavía se utilizan en algunos vehículos antiguos y vehículos comerciales. Estas llantas se usan en vehículos pesados que transitan por caminos off-road, ya que su estructura robusta y flexible les permite absorber los impactos y mantener la estabilidad en superficies irregulares (Ver figura 7).

**Llantas de Todo Terreno:** Las llantas de todo terreno están diseñadas para proporcionar tracción en una variedad de superficies, lo que les permite ser usadas en carreteras, barro, arena y rocas. Tienen una banda de rodadura con tacos grandes que les permiten agarrarse a la superficie y proporcionar tracción, normalmente estas llantas se pueden diferenciar por tener un tamaño mayor al de una llanta normal (Ver figura 8).

**Llantas Run Flat:** Las llantas Run Flat están diseñadas para permitir que el vehículo continúe funcionando incluso después de una pérdida de presión de aire o como se le conoce comúnmente “pinchazo” (Bedoya, 2021) Estas llantas tienen una pared lateral reforzada que evita que la llanta se aplaste por completo. Lo que le permite al conductor manejar a una velocidad reducida hasta el siguiente taller para reparar o reemplazar la llanta (Ver figura 9).

**Figura 6**

Llanta Radial



Nota: Sus cuerdas textiles proporcionan una mayor estabilidad y resistencia.  
Fuente: João Catharino (2022)

**Figura 7**

Llanta Diagonal



Nota: Las cuerdas textiles se cruzan entre ellas  
Fuente: João Catharino (2022)

**Figura 8**

Llanta Todo Terreno



Nota: Su estructura permite mayor agarre y tracción  
Fuente: Autocosmo (2020)

**Figura 9**

Llanta Run Flat



Nota: Interior de Llanta Run Flat donde se puede observar el diseño  
Fuente: Virtuallantas.mx (2020)

#### 2.1.1.4 DIRECCIÓN

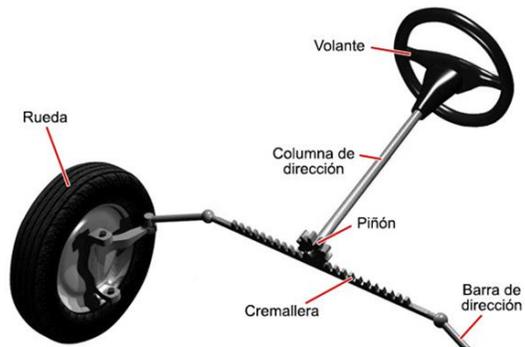
**Dirección Mecánica:** La dirección mecánica es el sistema más antiguo y básico, utilizado principalmente en vehículos antiguos y de baja potencia. Su funcionamiento se basa en una conexión directa entre el volante y las ruedas delanteras mediante un sistema de varillas y rótulas, es un sistema resistente que puede soportar condiciones de uso exigentes (ver figura 10).

**Dirección Hidráulica:** La dirección hidráulica utiliza un circuito hidráulico para amplificar la fuerza aplicada por el conductor al volante, asistiendo en la maniobra, el volante se gira con menos esfuerzo, especialmente a baja velocidad (ver figura 11).

**Dirección Eléctrica:** La dirección eléctrica es el sistema más moderno y eficiente, utilizando un motor eléctrico para asistir en la maniobra del volante. No requiere un sistema hidráulico, lo que reduce la complejidad y el mantenimiento, reduce el consumo de combustible al no utilizar energía del motor para la asistencia (ver figura 12).

**Figura 10**

Dirección Mecánica



Nota: Es un sistema resistente que puede soportar condiciones de uso exigentes.  
Fuente: Guerra (2022)

**Figura 11**

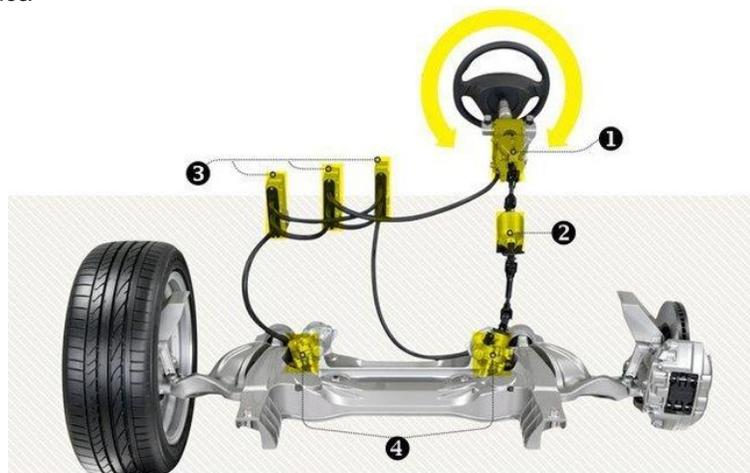
Dirección hidráulica



Nota: Ofrece una respuesta más precisa y directa del volante.  
Fuente: Rosario

**Figura 12**

Dirección Eléctrica



Nota: No requiere mantenimiento periódico del sistema hidráulico.  
Fuente: Notario (2015)

## 2.1.2 FRENOS

**Frenos de Tambor:** Los frenos de tambor son el sistema más antiguo y básico, utilizado principalmente en vehículos antiguos y de baja potencia. Su funcionamiento se basa en zapatas de freno que presionan contra la superficie interior de un tambor giratorio acoplado a la rueda, es un sistema resistente que puede soportar condiciones de uso exigentes.

**Frenos de Disco:** Los frenos de disco representan un avance significativo en cuanto a potencia de frenado, precisión y disipación del calor. Este sistema utiliza pinzas de freno que presionan contra un disco metálico giratorio acoplado a la rueda, Ofrecen una mayor potencia de frenado y resistencia a la fatiga, especialmente en situaciones.

**Sistemas ABS (Anti-lock Braking System):** El sistema ABS es un complemento de seguridad que evita que las ruedas se bloqueen durante el frenado en superficies resbaladizas, mejorando el control del vehículo y reduciendo la distancia de frenado, el sistema ABS utiliza sensores de velocidad en cada rueda para detectar cuándo una de ellas está a punto de bloquearse. En ese momento, el sistema reduce la presión de frenado en la rueda afectada, permitiendo que continúe girando y manteniendo la tracción.

**Figura 13**

Freno de tambor



Nota: La frecuencia de mantenimiento es ligeramente inferior por su mejor resistencia a la corrosión.

Fuente: Nogales (2024)

**Figura 14**

Freno de disco



Nota: El diseño abierto del disco permite una mejor disipación del calor generado durante el frenado

Fuente: Nogales (2024)

### 2.1.2.1 SUSPENSIÓN

La suspensión juega un papel crucial en la comodidad, el manejo y la seguridad de un vehículo. Es un sistema complejo que conecta las ruedas al chasis y absorbe las irregularidades del terreno, proporcionando una experiencia de conducción suave y estable. La suspensión también ayuda a mantener las ruedas del vehículo en contacto con la carretera en todo momento, lo que es esencial para una buena tracción y control de los vehículos, esta también protege otros componentes del vehículo, como los neumáticos, las llantas y los ejes, de los daños causados por los impactos del terreno. Estas se dividen en:

**Suspensión independiente:** En este tipo de suspensión, cada rueda tiene su propio sistema de suspensión, lo que permite que cada rueda se mueva de forma independiente del resto. Esto proporciona una mejor comodidad y manejo, especialmente en terrenos irregulares.

**Suspensión rígida:** En este tipo de suspensión, las ruedas de un mismo eje están conectadas entre sí por un eje rígido. Este tipo de suspensión es más simple y económica, pero ofrece menos comodidad y manejo que la suspensión independiente.

**Figura 15**

Suspensión Independiente



Nota: suspensión en la que un eje no se relaciona con el otro  
Fuente: Alfaraz (2017)

**Figura 16**

Suspensión Rígida



Nota: las vibraciones producidas en una rueda se transmiten a la otra  
Fuente: Alfaraz (2017)

### 2.1.3 EFICIENCIA Y AUTONOMIA EN VTE

Los vehículos eléctricos (VTE) se han convertido en una alternativa cada vez más popular a los vehículos tradicionales de combustión interna, gracias a sus ventajas en cuanto a eficiencia, autonomía y sostenibilidad. Sin embargo, aún existen dudas sobre la capacidad real de estos vehículos para recorrer largas distancias y su eficiencia energética en comparación con los autos a gasolina o diésel.

**Eficiencia Energética:** Los (VTE) son intrínsecamente más eficientes que los vehículos de combustión interna. La energía eléctrica se convierte en movimiento de manera más directa y con menos pérdidas, lo que se traduce en un mayor rendimiento energético. En promedio, un EV puede convertir el 77% de la energía eléctrica de la batería en movimiento, mientras que un vehículo de combustión interna solo aprovecha alrededor del 12-30% de la energía potencial de la gasolina o el diésel.

**Autonomía:** La autonomía de los VTE ha mejorado significativamente en los últimos años, gracias al desarrollo de baterías más eficientes y de mayor capacidad. Los VTE modernos pueden recorrer distancias de hasta 600 km o más con una sola carga. Murias (2024), lo que los hace adecuados para viajes largos y cotidianos.

### 2.1.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE COMPETENCIA

La Competencia Nacional de Vehículos de Tracción Eléctrica (CNVTE) es un evento académico y tecnológico que nació en 2019 con el objetivo de incentivar el desarrollo de este tipo de vehículos en Colombia. Organizada por diferentes instituciones educativas y entidades gubernamentales, la CNVTE ha crecido constantemente, atrayendo a más universidades y presentando prototipos cada vez más complejos. Entre sus objetivos principales se encuentran promover el desarrollo de vehículos eléctricos en el país, fomentar la innovación en el campo de la movilidad sostenible y contribuir a la formación de talento humano especializado. La CNVTE ha tenido un impacto significativo en este sector, impulsando la investigación, el desarrollo de nuevas tecnologías y la formación de profesionales. Se espera que la competencia continúe creciendo y consolidándose como un evento de referencia en la movilidad eléctrica colombiana, enfocándose en áreas como

la innovación en baterías, el diseño de vehículos y la implementación de soluciones para el transporte público y privado.

**Diseño mecánico del vehículo:** Los vehículos deben ser diseñados, construidos y conducidos por los estudiantes vinculados al proyecto. La construcción del vehículo puede incluir la asistencia de personal externo, cuando las capacidades necesarias para el desarrollo excedan las disponibles en la institución educativa. Durante el diseño del vehículo, la construcción y la planeación de la competencia los equipos deberán prestar atención a todos los aspectos de seguridad, incluyendo la seguridad del conductor, participantes, voluntarios y espectadores. El interior del vehículo no puede contener algún objeto que lastime al piloto en caso de una colisión.

**Dimensiones:** El alto del vehículo deberá ser inferior a 1000 mm. El ancho del vehículo deberá ser, al menos, de 500 mm, medidos entre los puntos medios de las ruedas de mayor trocha. El ancho máximo del vehículo no podrá superar los 1300 mm. El largo del vehículo no podrá superar los 3500 mm. Los vehículos deben tener una zona mínima de seguridad de 100 mm desde el frente del vehículo hasta los pies del piloto. El no cumplimiento de las dimensiones es penalizable.

**Figura 17**

Dimensiones del vehículo



Nota: Barra antivuelco y triángulo de seguridad  
Fuentes: Institución Universitaria Pascual Bravo (2024)

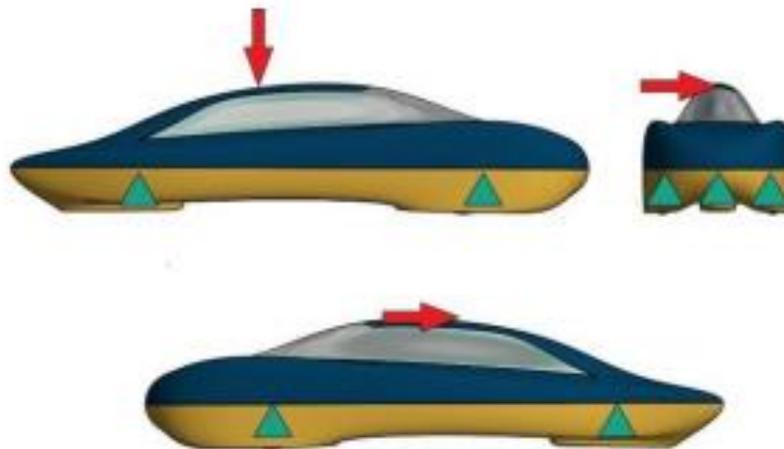
**Peso del vehículo:** El peso máximo del vehículo, sin incluir al piloto, no podrá superar los 120 kg.

**Chasis / monocasco:** Todos los vehículos deben tener un sistema de protección de volcamiento que prevenga que alguna parte del cuerpo del piloto entre en contacto con el suelo de la pista, garantizando el triángulo de vida. De igual manera, deberán tener un piso o estructura que evite que los pies del piloto toquen el piso una vez el piloto se encuentre en el vehículo. Los vehículos deben estar completamente cubiertos (carrocería de algún tipo), por un material que no se deforme con el viento, pero se debe asegurar que el piloto tenga visibilidad de 180°, teniendo una distancia mínima de 5 cm, entre el casco (superficie más alta) y la barra antivuelco o techo de protección que cumpla con la misma función de dicha barra (ver figura 19).

Los equipos deben diseñar su vehículo de tal forma que el cuerpo del piloto esté protegido contra impactos y volcamientos; además, debe permitir una rápida salida en caso de alguna eventualidad. El sistema de protección de volcamiento del vehículo deberá soportar una carga de 1500 N aplicados en las direcciones de los tres ejes del vehículo:

**Figura 18**

Direcciones de la carga



Nota: Direcciones de aplicación de las cargas

Fuente: Reglamento IV competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica

**Ruedas:** Cualquier tipo de llantas o ruedas es permitido. Los vehículos deben tener al menos 3 ruedas en constante contacto con la pista. Algún tipo de rin debe ser usado. Los rines deben ser compatibles con las dimensiones de las ruedas seleccionadas, de tal manera que se conserven los estándares de seguridad. NOTA: Las ruedas de bicicleta no están diseñadas para soportar cargas laterales, por lo tanto, si se utilizan se debe tener en cuenta que, ante cargas laterales inadecuadas, estas tienden a salirse del rin. Los ejes de giro de las ruedas deben diseñarse para cargas en cantiléver, es decir, con un apoyo exclusivo en un extremo, en vez de un apoyo en ambos extremos, como sucede con las bicicletas. Las ruedas que por el diseño del vehículo estén localizadas al interior de la cabina, obligatoriamente deben estar cubiertas por una carcasa, para separarlas del piloto. El transporte o la manipulación de las ruedas por los pilotos es prohibido desde el momento en el que el vehículo está en la línea de partida hasta el final de la competencia. Todas las instalaciones deben ser realizadas de tal manera que ninguna parte de las ruedas entre en contacto con otras partes del vehículo (cables, alambres, mangueras). Todo debe estar debidamente asegurado, para que no interfiera con el normal funcionamiento de las ruedas y cause algún accidente.

**Radio de giro:** El sistema de giro se debe diseñar de tal manera que no exista en ningún momento contacto entre las ruedas y el chasis del vehículo. El radio de giro es la distancia entre el centro del círculo y la rueda externa del vehículo. La rueda más externa debe ser capaz de realizar un arco de 90° con un radio de 5 metros figura 5.

**Frenos:** Los vehículos deben estar equipados con dos sistemas de frenado, operados de manera independiente. Cada sistema debe ser operado por un control diferente. Un sistema debe operar sobre las ruedas delanteras y el otro sobre las ruedas traseras. Es obligatorio utilizar frenos de disco en todas las ruedas.

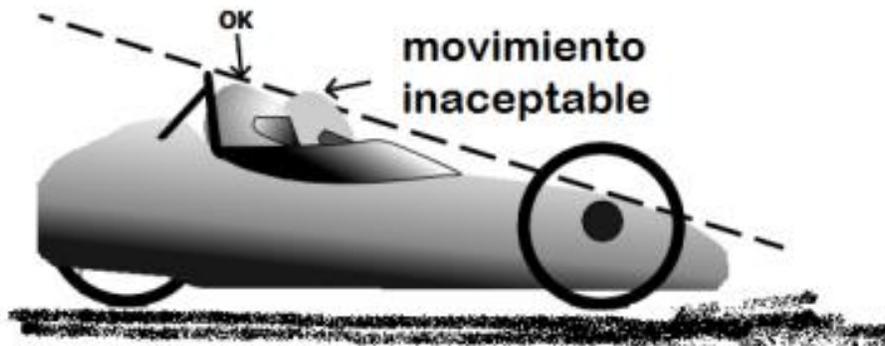
**Posición del piloto:** Por razones de seguridad, la posición de manejo cabeza primero no es permitida. Se permiten las posiciones en donde el piloto está sentado o tumbado hacia atrás (ver imagen 19).

**Cinturón de seguridad:** El cinturón de seguridad debe estar sujeto al chasis en al menos 4 puntos, los cuales deben soportar el peso del vehículo junto con el del piloto suspendido en el aire.

**Visibilidad:** El piloto debe poseer completa visibilidad hacia adelante y de 90° en cada lado del eje longitudinal del vehículo.

**Figura 19**

Barra antivuelco y posición del piloto



Nota: Barra antivuelco y triángulo de seguridad

Fuentes: Reglamento IV competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica

**Espejos retrovisores:** Los vehículos deben contar con espejos retrovisores para favorecer la visibilidad del piloto. Aclaración: los espejos retrovisores pueden ser reemplazados por una cámara de visión trasera. Sin embargo, dicha cámara, y su correspondiente pantalla y sistema de control o toma de datos, debe estar alimentada por la misma batería que suministra energía a todo el vehículo. No se aceptan sistemas de alimentación independientes.

**Bocina y Señal Luminosa:** El vehículo debe incluir un sistema sonoro (bocina), que sirva para avisar de la presencia de éste cuando se requiera, además debe contar con una señal luminosa(stop) trasero circular, con un diámetro mínimo de 5cm, o su equivalente lineal, que se active cuando se accione cualquiera de los frenos. Este dispositivo debe estar alimentado del mismo circuito de sistema de batería(s).

**Carrocería:** El vehículo debe estar completamente cubierto, es decir debe contar con una carrocería sujeta al chasis, que no permita que alguna parte del cuerpo del piloto se salga o esté en contacto con las ruedas del vehículo, si las ruedas quedan en el interior del chasis también se debe garantizar que queden cubiertas y no toquen al piloto. La cubierta del vehículo debe ser de un material no astillable.

**Abandono del vehículo:** El piloto debe poder abandonar el vehículo en un lapso no superior a 20 segundos, sin ningún tipo de asistencia, el tiempo comenzará a contar, una vez el piloto esté asegurado completamente con el cinturón de seguridad, el casco puesto y la cabina cerrada (si es el caso).

**Extintor:** Cada equipo debe contar con un extintor clase D o de CO<sub>2</sub>, que sirva o este homologado para aplicar directamente sobre baterías de litio, en la competencia anterior se pudo observar la incapacidad de los extintores convencionales aplicados a baterías de litio, el extintor debe tener una capacidad mínima de 1 kg, y no tiene que estar dentro del vehículo, aunque se puede. en caso de presentarse algún incidente o accidente, el primero en determinar si se requiere uso del equipo de extinción es el piloto, después de haber salido del vehículo, podrá usarlo si lo lleva, desde que no comprometa su integridad, o si no lo lleva, personal de su equipo (máximo 2 personas) hará la asistencia hasta el lugar, en caso de requerir más apoyo, se solicitará al equipo de emergencias de la competencia.

**Dispositivos aerodinámicos:** Los vehículos podrán contar con componentes o dispositivos que alteren la carga aerodinámica; estos deberán estar acoplados/integrados al chasis/carrocería de tal forma que un fallo del elemento no se traduzca en un riesgo para el piloto y/o participantes del evento.

#### **2.1.4.1 DISEÑO ELÉCTRICO DEL VEHÍCULO**

Por razones de seguridad, el máximo voltaje para la batería principal no debe superar 48 V nominales. En caso de poseer arreglos electrónicos con dispositivos de almacenamiento secundarios, el voltaje total en el vehículo no debe superar los 60 V. La potencia neta máxima permitida de salida es 500W. Sin embargo, entendiendo que los elementos electrónicos consumen potencia y se cuenta con sobre picos, si se sobrepasa

dicha potencia, el equipo será penalizado según las condiciones establecidas. Para todos los vehículos, solo se permite una batería o arreglo de ellas, con una capacidad máxima total de 14Ah, la cual podrá ser recargada entre pruebas, pero NO cambiada o recargada durante estas. En caso de tener pantallas, no es posible tener baterías extras para la alimentación de esta. Todo se debe alimentar de una sola batería principal.

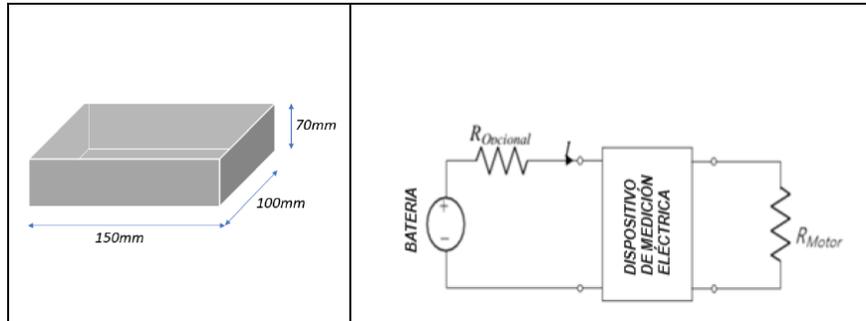
#### 2.1.4.2 MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA

**Vatímetro y/o Dispositivo de Medición eléctrica (DIME):** Para garantizar el cumplimiento de la normativa eléctrica de la competencia, todos los vehículos deben contar con un espacio entre la batería principal y el motor para ubicar un dispositivo de medición eléctrica. Este espacio deberá contar con un par de borneras o terminales de pin ubicadas en sus extremos, para permitir la conexión del dispositivo. El espacio mínimo será de 150mm x100mm x70mm (figura 20). El espacio debe ser visible y de fácil acceso. A cada equipo se le suministrará un DIME, el cuál será instalado en presencia de un integrante designado por cada equipo, esta persona se encargará de verificar el montaje y calibración en el espacio designado para alojar el equipo de medición. El circuito eléctrico puede tener dispositivos diferentes al motor (Opcional), pero todos deben estar conectados al circuito principal. El dispositivo será instalado y manipulado únicamente por los organizadores de la competencia. Con el DIME se registrarán variables como los vatios  $w$  y el tiempo  $t$ , además, entregará la distancia total recorrida  $d$  total y RPM entre otras, con estas variables la eficiencia se medirá en función la ecuación a continuación, usando la distancia total, la potencia total promedio y la velocidad promedio:

$$\eta_{total} = \frac{d_{total} \times \bar{V}}{\bar{W}}$$

**Figura 20**

Dispositivo de Medición eléctrica



Nota: Conexión DIME y geometría del espacio destinado para esta.

Fuente: Reglamento IV competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica

**Sistema de gestión de baterías o BMS:** Preferiblemente, se debe usar un sistema de gestión de baterías comercial para el 100 % de las celdas del sistema de baterías, el cual evalúa el estado de la batería y, por lo tanto, controla y protege de algún riesgo de incendio. Este sistema debe ofrecer balanceo por celda y protección de sobrevoltaje durante la carga. El sistema debe desconectar automáticamente la batería, sin intervención humana, en caso de que se sobrepase un valor límite o se presente una condición de fuera de rango.

Las baterías deben estar encerradas en un “recipiente” o espacio que permita algún grado de aislamiento térmico e ignífugo, que no tenga elementos que promuevan la combustión (cartón, madera, plásticos y demás) en caso de incendio.

Por razones de seguridad, los circuitos positivos y negativos de la batería o los supercapacitores deben estar debidamente separados del chasis del vehículo o cualquier parte metálica. Todos los circuitos eléctricos deben estar protegidos contra las sobrecargas eléctricas. La protección por sobrecarga debe ser en forma de límites de corrientes manejados por controladores eléctricos o por la inserción de fusibles. El cableado eléctrico debe estar en buena condición, debidamente marcado, asegurado y no debe estar cerca de ninguna parte en movimiento. Aclaración: Los equipos pueden utilizar un BMS fabricado por ellos mismos bajo su propia responsabilidad, siempre y cuando se adjunten a la sección

5. Diseño eléctrico/Sistema de gestión de Baterías del informe final, un reporte de pruebas que evidencien su seguridad

**Dispositivos de almacenamiento de energía:** Los vehículos podrán emplear dispositivos de frenado regenerativa de energía con el propósito de mejorar el rendimiento de sus vehículos. De llegar a usarse algún dispositivo secundario, se debe asegurar que, al inicio de las competencias, la carga de este elemento esté en estado de descarga. Motores a combustión no son permitidos en la competencia. en el caso de querer usar algún tipo de dispositivo de almacenamiento secundario de energía, se deberá indicar en el documento de que tipo es.

**Compartimento de energía:** El Compartimento de los sistemas de control y regulación eléctricos y las baterías deben ser de fácil acceso para una rápida inspección. Todos los objetos en el vehículo deben quedar completamente sujetos; no se permitirá que el desplazamiento sea superior al 5 % de las dimensiones nominales. Debe existir un sistema de aislamiento que evite que los dispositivos de almacenamiento de energía puedan causar problemas al piloto en caso de incendio o volcamiento.

**NOTA:** es de anotar que, debido al alto grado de irregularidad de la pista, se requiere limitar al máximo el desplazamiento de los componentes, debido a que se pueden presentar desprendimientos de los equipos de control y almacenamiento de energía, así como de los demás sistemas que posee el vehículo.

**Gestión de carga por energía renovable:** Durante las competencias se permite la gestión de carga por medio de energías renovables.

**Sistema de emergencia:** El propósito del sistema de emergencia es deshabilitar todo el sistema de propulsión del vehículo. El mecanismo de emergencia debe proveer una desconexión física del sistema de batería del sistema eléctrico del vehículo. Debe contar con un fusible principal, ubicado justo a la salida de la batería en el terminal positivo. La capacidad de este fusible debe ser calculada dependiendo de la corriente utilizada por el sistema. Debe existir un sistema de desconexión interno y externo de emergencia. El sistema interno de emergencia será usado por el piloto. El sistema externo de emergencia

deberá ubicarse en la parte trasera del vehículo y para reactivarse deberá utilizar botones de rotación (hongo con enclavamiento directo y liberación por rotación). Los vehículos deberán contar con un sistema denominado “dispositivo de seguridad de hombre muerto”, o su equivalente, el cual deberá desactivar toda la propulsión del vehículo en caso de que el piloto se incapacite durante la operación del vehículo. Aclaración: El sistema de seguridad de hombre muerto debe desconectar el circuito entre la batería y el motor; no obstante, se debe garantizar que, en caso de ser accionado, el registro de potencia no se suspenda.

**Diagrama de bloques de suministro de energía:** Debe contener información que describa el flujo de energía y la función de cada componente dentro del sistema energético del vehículo. Se deben especificar, como mínimo, los siguientes elementos: Motor, batería, sistema de gestión de baterías, fusibles, cableado, interruptores de parada de emergencia, controladores de motores y sistema de corte de energía del vehículo.

**Diagrama del sistema de propulsión:** Debe contener un diagrama de bloques, con sus respectivos textos, en donde se describa cómo va la propulsión del motor al vehículo.

## **2.1.5 TEORÍAS DE FALLA**

### **2.1.5.1 CRITERIO DE FALLAS DE VON MISES:**

El criterio de falla de Von mises, también conocido como criterio de la energía de distorsión, es un método para predecir la falla de materiales dúctiles bajo condiciones de carga multiaxial. Se basa en la idea de que la falla ocurre cuando la energía de distorsión total de un material alcanza un valor crítico.

Es una teoría más general y versátil que el criterio de Tresca, ya que puede aplicarse a una amplia gama de estados de esfuerzos y geometrías de componentes, Se utiliza ampliamente en el diseño de estructuras y componentes mecánicos sujetos a cargas complejas, como tuberías, recipientes a presión y piezas de maquinaria.

Energía de deformación:

$$U = \frac{P\delta}{2} \quad \delta = \frac{PL}{AE}$$

Donde P es la carga aplicada y  $\delta$  el desplazamiento debido a dicha carga, A es el área transversal, L la longitud y E el módulo o límite de elasticidad.

Por unidad de volumen:

$$u = \frac{U}{v} = \frac{P\delta/2}{AL} = \frac{\sigma\varepsilon}{2}$$

Donde  $\sigma$  es el esfuerzo y  $\varepsilon$  la deformación unitaria.

$$\sigma_{prom} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

Ahora bien, la energía de deformación total es igual a la energía de deformación hidrostática más la energía de distorsión. También se puede calcular por superposición:

$$u = \frac{\sigma_1\varepsilon_1}{2} + \frac{\sigma_2\varepsilon_2}{2} + \frac{\sigma_3\varepsilon_3}{2}$$

Donde  $\varepsilon$  para cada dimensión se calcula:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} - \frac{\nu}{E}(\sigma_2 + \sigma_3)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E} - \frac{\nu}{E}(\sigma_1 + \sigma_3)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\sigma_3}{E} - \frac{\nu}{E}(\sigma_2 + \sigma_1)$$

Ahora bien, al simplificar:

$$u_{total} = \frac{1}{2E}[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3)]$$

Ahora bien, la energía de distorsión es igual a la energía de deformación total menos la energía de deformación por volumen o hidrostática:

$$u_v = \frac{3\sigma_{prom}^2}{2E}(1 - 2\nu)$$

Al restar:

$$u_d = u_{total} - u_v = \frac{1 + \nu}{3E} \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]$$

Se debe comparar con la energía de distorsión generada por el esfuerzo equivalente, también llamado esfuerzo de Von mises:

$$\sigma' = \sqrt{\left( \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}{2} \right)}$$

Entonces:

$$\sigma' = \sqrt{(\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2)}$$

La teoría de Von Mises es más aplicable:

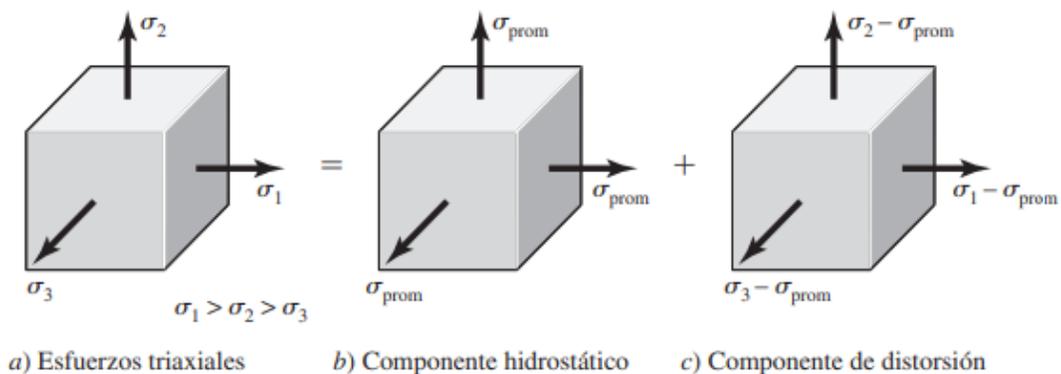
$$\sigma' = \frac{\delta_y}{FS}$$

Donde  $FS$  es el factor de seguridad y  $\delta_y$  es el ESFUERZO de fluencia.

$FS$  debe ser mayor 1 para evitar la falla.

**Figura 21**

Teoría de Von mises



Nota: Representación de los diferentes esfuerzos y componentes.

Fuente: Budynas & Keith Nisbett.

### 2.1.5.2 TEORÍA DEL ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO (TRESCA)

Esta teoría establece que la falla ocurre cuando el esfuerzo cortante máximo en un material alcanza su valor de resistencia a la cizalladura ( $T_{max}$ ). Es una teoría relativamente simple y fácil de aplicar, pero no considera la distribución espacial del esfuerzo dentro del material. Se utiliza principalmente para analizar la falla de materiales dúctiles sometidos a cargas de corte simples, como pernos, remaches y pasadores, también se puede utilizar para evaluar la falla de materiales dúctiles en estado plano de esfuerzos.

### 2.1.5.3 TEORÍA DE MOHR-COULOMB:

Esta teoría es específica para materiales granulares y cohesivos, como el hormigón, la roca y el suelo. Considera la resistencia a la compresión y la fricción interna del material para predecir la falla bajo cargas combinadas de compresión y cizalladura. Se utiliza principalmente en el análisis de estabilidad de taludes, cimentaciones y estructuras de mampostería, también se aplica en el diseño de pavimentos, túneles y excavaciones subterráneas.

### 2.1.6 CASA DE CALIDAD (QFD):

Consiste en una matriz o método que relaciona lo que el cliente quiere y cómo una empresa va a cumplir esas necesidades con el fin de asegurar la satisfacción del cliente y el cumplimiento de los requerimientos del producto para lograr una mayor calidad (ver figura 22).

**Tabla 2**

Partes de la casa de calidad

| N | PARTE                                    | DESCRIPCIÓN  |
|---|--|--|
| 1 | Requisitos del cliente (QDs)             | En esta sección, se enlistan las necesidades, expectativas y deseos de los clientes en relación con el producto o servicio, La información se obtiene a través de diversas técnicas de investigación de mercado, como encuestas, entrevistas y grupos focales. |
| 2 | Pesos de los requisitos del cliente (Qs) | Se asigna un peso a cada requisito del cliente, indicando su importancia relativa para la satisfacción del cliente, Los pesos se   |

|   |   |  |
|---|---|--|
|   |   | pueden determinar utilizando encuestas, análisis de datos o la opinión de expertos.  |
| 3 | Características técnicas (CTs)  | En esta sección, se definen las características técnicas del producto o servicio que permitirán cumplir con los requisitos del cliente, Las características técnicas deben ser específicas, medibles y alcanzables.  |
| 4 | Relación entre los requisitos del cliente y las características técnicas (Matriz de relaciones) | Se establece una relación entre cada requisito del cliente y cada característica técnica, indicando si la característica contribuye a cumplir el requisito, La relación se representa con símbolos como ++ (fuerte relación positiva), + (relación positiva), - (relación negativa) o -- (fuerte relación negativa). |
| 5 | <b>Objetivos de diseño (Ts):</b>  | Se establecen objetivos específicos y medibles para cada característica técnica, considerando la importancia de cada requisito del cliente, Los objetivos de diseño deben ser desafiantes pero alcanzables.  |
| 6 | Correlación entre las características técnicas (Matriz de correlación)                          | Se analiza la correlación entre las diferentes características técnicas, identificando posibles sinergias o conflictos, La correlación se representa con símbolos como ++ (fuerte correlación positiva), + (correlación positiva), - (correlación negativa) o -- (fuerte correlación negativa).                      |
| 7 | Los puntos de atención (BPs)  | Se identifican los puntos de atención, que son las características técnicas que requieren mayor atención y esfuerzo debido a su alta correlación con requisitos del cliente importantes o a una baja correlación entre sí.   |
| 8 | Los requisitos y objetivos de los proveedores (Ps y Ts)   | Se definen los requisitos y objetivos para los proveedores, considerando las características técnicas del producto o servicio. Esta información es crucial para la selección y gestión de proveedores.   |

El diligenciamiento de la Casa de la Calidad se realiza de manera progresiva, siguiendo los pasos descritos en la tabla 3:

**Tabla 3**

Pasos para llenar la casa de calidad

| <b>N</b> | <b>PARTE</b>   | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |
|----------|--|---|
| <b>1</b> | <b>Definir los requisitos del cliente (Demanded Quality)</b>   | Recopilar información sobre las necesidades y expectativas de los clientes a través de investigación de mercado.  |
| <b>2</b> | <b>Asignar pesos a los requisitos del cliente (Qs)</b>   | Priorizar los requisitos del cliente en función de su importancia para la satisfacción del cliente.   |
| <b>3</b> | <b>Identificar las características técnicas (CTs) (Quality Characteristics)</b>                                      | Definir las características técnicas del producto o servicio que permitirán cumplir con los requisitos del cliente.   |
| <b>4</b> | <b>Establecer la relación entre los requisitos del cliente y las características técnicas (Matriz de relaciones)</b> | Analizar cómo cada característica técnica contribuye a cumplir cada requisito del cliente.  |
| <b>5</b> | <b>Evaluar la correlación entre las características técnicas (Matriz de correlación)</b>                             | Analizar la correlación entre las diferentes características técnicas, identificando posibles sinergias o conflictos.   |
| <b>6</b> | <b>Identificar los puntos de atención (BPs)</b>  | Priorizar las características técnicas que requieren mayor atención y esfuerzo debido a su alta correlación con requisitos del cliente importantes o a una baja correlación entre sí. |
| <b>8</b> | <b>Definir los requisitos y objetivos de los proveedores (Ps y Ts)</b>   | Establecer los requisitos y objetivos para los proveedores, considerando las características técnicas del producto o servicio.  |

**Figura 22**

Casa de calidad

| Column #   |   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| Direction of Improvement:<br>Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
| Weight / Importance  | Quality Characteristics<br>(a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows") |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  | Demanded Quality<br>(a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  | Target or Limit Value   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  | Difficulty<br>(0=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  | Max Relationship Value in Column  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  | Weight / Importance   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |
|  | Relative Weight   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |

Nota: Plantilla de Casa de calidad QFD  
Fuente: ADN Lean (2024)

## 2.2 ANTECEDENTES

El proyecto presentado en la tesis “Diseño y análisis de un vehículo eléctrico ligero para movilidad urbana e interurbana” en la Universidad de Zaragoza por los autores Caballo & Cabero en el 2019 se centra en el diseño y análisis de un vehículo eléctrico ligero (VEL) de pequeñas dimensiones, orientado principalmente a la movilidad urbana e interurbana. El objetivo principal fue desarrollar un vehículo eficiente, sostenible y seguro que responda a las necesidades de transporte actuales. Para lograrlo se usó una metodología mixta, donde se combinan módulos cualitativos y cuantitativos, dividiéndose en diferentes etapas. En los resultados se obtuvo el diseño de dos chasis y la simulación de cada uno de estos, siendo las deformaciones máximas del primero menores a 1 mm y ubicadas en el espacio que protegería a la batería, las cuales fueron de tipo Ion-Litio debido a sus poco peso y elevada densidad energética. Finalmente, los autores recomiendan el desarrollo de un sistema de frenado regenerativo debido a que este sistema permitiría recuperar energía durante la frenada y aumentaría la autonomía del vehículo.

La tesis de grado “Diseño y construcción de los sistemas de chasis, carrocería, dirección, frenos y suspensión para un vehículo monoplaza eléctrico” Presentada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por los autores Bermeo Ojeda & Fogacho Chiliza en el 2022 trató sobre el diseño y construcción de un vehículo monoplaza eléctrico, que incluía los sistemas de chasis, carrocería, dirección, frenos y suspensión para lo cual se realizó un análisis y estudio computarizado de los sistemas automotrices usando los software especializado SolidWorks®2022, ANSYS y MATLAB con el fin de optimizarlos y adaptarlos a las características específicas de un vehículo monoplaza eléctrico. El vehículo se construyó en fibra de carbono y aluminio para disminuir su peso, llegó a tener una aceleración de hasta 14,2 m/s<sup>2</sup> y una autonomía en las baterías de 40 km. Finalizada la construcción del vehículo los autores mencionan la importancia de poner a prueba cada uno de los procesos antes del acoplamiento final, con el objetivo de corroborar su funcionamiento paso a paso.

En la tesis de grado titulada “Diseño y manufactura de un chasis en fibra de carbono para un vehículo eléctrico” avalada en el 2023 por la Universidad de los Andes y

desarrollada por el autor Espinosa Fonseca se diseñó y fabricó un chasis en fibra de carbono para un vehículo de tracción eléctrica, con el objetivo de cumplir con las normativas existentes y garantizar la seguridad, resistencia y eficiencia del vehículo. Se implementó una metodología que incluyó una planificación detallada del tiempo, dividiendo el proyecto en tres fases secuenciales. El vehículo construido, al estar hecho de fibra de carbono, tuvo una reducción en el peso de 30% y una mejora en la rigidez del 20% con una deformación máxima de solo 2.5 mm. Finalizado el proyecto el autor destaca ciertas recomendaciones de las cuales resaltan analizar el sistema de dirección utilizado, debido a que diseñar uno específico para el vehículo podría mejorar los resultados.

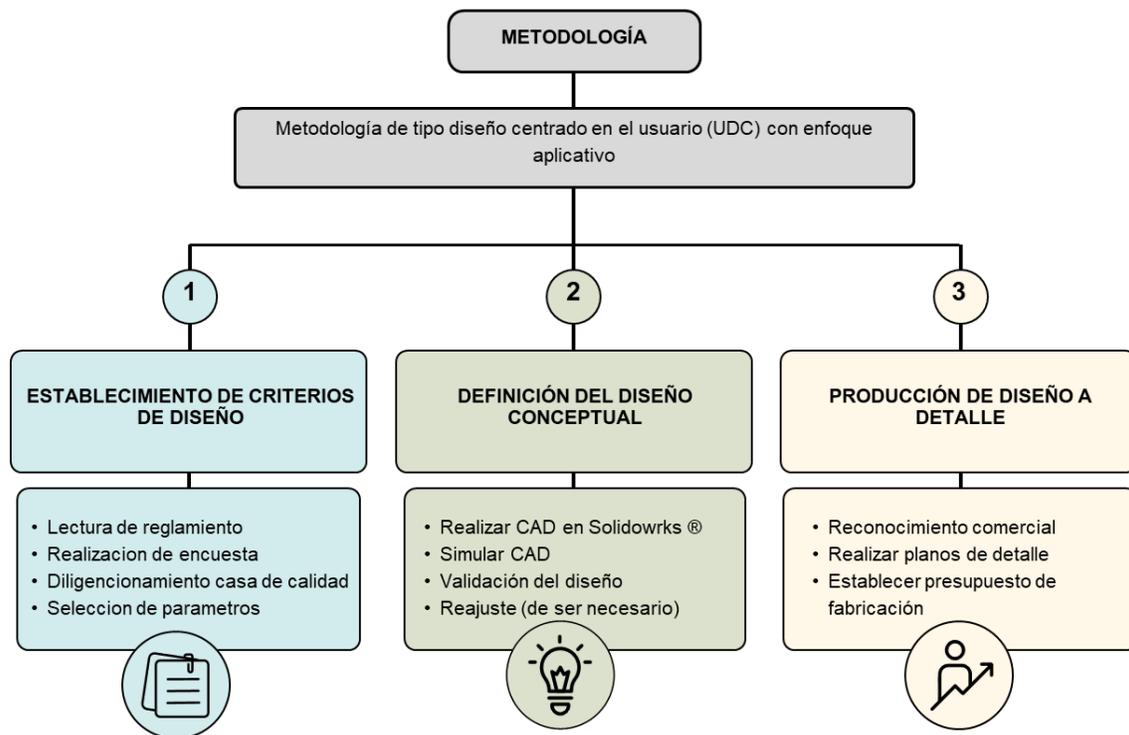
En el artículo de investigación “Diseño de un vehículo para la competición Shell Eco-Marathon” los autores Vega Cáceres, B. S., Díaz García, E. D., & Ardila Gómez, S. A. (2023) describen el desarrollo del diseño de un vehículo para la competición Shell Eco-Marathon. La investigación fue llevada a cabo por estudiantes de la Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB) en Colombia, y se basó en el reglamento de la competición para el año 2022. Lograron su objetivo usando el software SolidWorks para simular el comportamiento del chasis y destacando el sistema de dirección del vehículo, el cual fue basado en la geometría de Ackerman, logrando mayor estabilidad y un manejo preciso y estable validado por medio de cálculos matemáticos realizados por ellos mismos. El diseño conseguido fue aéreo dinámico y ligero, con un peso de 25 kg construido en fibra de carbono, un coeficiente aerodinámico de 0.25 y una autonomía de 100 km.

### 3 METODOLOGÍA

La metodología planteada para la propuesta es de tipo diseño centrado en el usuario (UDC) con enfoque aplicativo. Esto debido a que dicho enfoque se caracteriza por una orientación práctica y enfatizar en la aplicación de los principios del UCD a casos reales, además de ser lo suficientemente flexible para adaptarse a diferentes contextos y proyectos. La competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica se toma como usuario para garantizar el cumplimiento de los requerimientos específicos y las expectativas que se exponen en el reglamento de la competencia. Por tales motivos esta metodología se dividió en tres etapas:

Figura 23

Mapa conceptual de metodología



Nota: Resumen de las tareas en cada etapa de la metodología.  
Fuente: Autoría propia

### 3.1 ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS DE DISEÑO

Partiendo desde la lectura el reglamento de la IV competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica y consultando en la literatura se establecen parámetros de diseño que no solo permitan el cumplimiento de los requerimientos y expectativas de la competencia, sino que también lo definan como un diseño económico y eficiente.

Al mismo tiempo por medio del método “Despliegue de la Función de Calidad (QFD)” se realiza la ponderación de los diferentes criterios de diseño para tomar las decisiones más acertadas y alineadas con el objetivo de la investigación. Los “Demanded Quality”, se obtiene por medio de las especificaciones de los usuarios, que en este caso son los pilotos. Por tal motivo, se debe realizar una encuesta a estos posibles pilotos bajo el siguiente formato:

**Tabla 4**

Formato encuesta a pilotos

| Pregunta clave   | Respuesta del usuario |                       |                       |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Nombre   |                       |                       |                       |                       |                       |
| Siendo 1 la opción de menor importancia y 5 la de mayor importancia, ¿Qué importancia le darías a cada uno de los siguientes requerimientos siendo piloto de un VTE? |                       |                       |                       |                       |                       |
| Importancia<br>Requerimiento   | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     |
| Ergonómico (cómodo)  | <input type="radio"/> |
| Liviano  | <input type="radio"/> |
| Económico  | <input type="radio"/> |
| Fácil acceso (Entrar al vehículo)  | <input type="radio"/> |
| Sistema antivuelco   | <input type="radio"/> |
| Freno Preciso  | <input type="radio"/> |
| Veloz  | <input type="radio"/> |
| Fácil manejo   | <input type="radio"/> |

|  |                       |                       |                       |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Estético   | <input type="radio"/> |
| Tamaño   | <input type="radio"/> |
| Maniobrabilidad  | <input type="radio"/> |
| Fácil mantenimiento  | <input type="radio"/> |
| ¿Que otro requerimiento propondrías, y que grado les darías? | Rta/                  |                       |                       |                       |                       |

A partir de las respuestas que se obtengan se deben seguir los siguientes pasos para ponderar los parámetros:

**Tabla 5**

Pasos para la ponderación de los resultados de la encuesta

| Ítem | Descripción   | Ecuación                 |   |
|------|---|--------------------------|---|
| 1    | Se realiza una sumatoria de todos los puntos obtenidos para cada parámetro                      | $P_p = \sum P_n$         | <b>P<sub>p</sub> = Puntos por parámetro</b><br><b>P<sub>n</sub> = Puntos asignados por piloto</b> |
| 2    | Se suman los puntos totales   | $P_t = \sum P_p$         | <b>P<sub>t</sub> = Puntos totales</b>   |
| 3    | Se divide los puntos de cada parámetro entre el total de puntos para obtener así la ponderación | $Peso = \frac{P_p}{P_t}$ | <b>Peso = importancia o peso de cada parámetro</b>  |

Una vez obtenido la ponderación de cada parámetro se seleccionan los diez con mayor importancia y se inicia con la casa de calidad, asignando el peso de cada uno en el espacio correspondiente.

Ahora bien, los parámetros definidos en la sección “Quality Characteristics” de la casa de calidad, serán obtenidos por medio de la lectura y revisión del reglamento de la IV competencia nacional de vehículos eléctricos. Finalmente, en esta etapa se relacionan las características y demandas de calidad como se indica en el marco conceptual para finalmente establecer los criterios de diseño.

### 3.2 DEFINICIÓN DEL DISEÑO CONCEPTUAL

Esta etapa comprende todo el proceso de realizar el diseño del VTE a partir de los parámetros definidos anteriormente y es validado a través de la simulación de elementos críticos bajo la teoría de falla de Von mises, aplicando cargas en los ejes correspondientes según el reglamento de la competencia, haciendo uso del software SolidWorks 2023 ®.

Para realizar el CAD en el software SolidWorks 2023 ® se inicia con un croquis 3D de la geometría general del vehículo, asegurando que esta cumpla con los parámetros de diseño establecidos anteriormente en cuanto a tamaño y dimensiones, en caso de modificaciones en la geometría se realizan desde este apartado de croquis.

Una vez realizada la geometría del croquis se selecciona el perfil estructural y el material a utilizar para luego iniciar con la simulación ubicando las cargas definidas por el reglamento en cada uno de los ejes como se expone en la figura 18.

Finalizada la simulación se realiza la validación del vehículo prestando especial atención a los factores de seguridad arrojados por el software y los elementos que están sometidos a mayor esfuerzo, en caso de que se cumpla alguna de las siguientes condiciones se hace un reajuste al diseño:

**Tabla 6**

Condiciones para reajuste del diseño

| Ítem | Condición           | Especificación  |
|------|---------------------|---|
| 1    | Fallas              | <b>El chasis presenta fallas bajo el criterio de Von Mises</b>                  |
| 2    | Factor de seguridad | <b>El chasis presenta factores de seguridad menores de 1</b>                    |
| 3    | Dimensiones         | <b>El chasis no cumple con las dimensiones establecidas desde el reglamento</b> |

Con el chasis validado se da paso a la selección de las llantas, dirección, amortiguadores y asiento que tendrá el vehículo, quienes estarán ensamblados al chasis, completando de esta forma el diseño conceptual.

### **3.3 DISEÑO A DETALLE**

Una vez validado el diseño propuesto en la etapa anterior se inicia con la producción de los planos a detalle del vehículo, quienes corresponden al plano de ensamble y de fabricación.

#### **3.3.1 Plano de ensamble**

Usando el apartado de dibujo del software SolidWorks 2023 ® se realiza el plano del chasis y dirección del vehículo enfatizando en la geometría y dimensiones de estos, estableciendo las unidades, escala de cada vista y especificaciones técnicas de los elementos. También se realiza el plano del ensamble del vehículo con la dirección, asiento, amortiguadores y llantas mostrando cada componente en su forma final y la relación entre estos, designando cada uno con un número de identificación en una tabla de piezas y materiales.

#### **3.3.2 Plano de fabricación**

Haciendo uso del apartado de dibujo del software se realiza el plano de fabricación del vehículo, el cual contiene la vista del diseño en su totalidad y las posiciones relativas de cada componente, dimensionando la fabricación de aquellos que lo requieran indicando las especificaciones técnicas necesarias. También contiene una tabla de materiales en el que se especifica cada pieza según lo requiera al igual que la tolerancia y acabados de estos.

#### **3.3.3 Presupuesto**

A partir de los componentes seleccionados durante el diseño conceptual y los demás componentes establecidos por el reglamento se realiza un presupuesto de tal forma que dichas piezas no solo sean accesible comercialmente sino también estén disponibles a nivel regional o nacional, abarcando los precios tanto de piezas como procesos de fabricación y personal requerido.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de la metodología propuesta se logra cumplir con cada etapa, siendo los resultados obtenidos los siguientes:

### 4.1 ETAPA 1: CRITERIOS DE DISEÑO

A partir de la lectura del reglamento de la competencia y una revisión bibliográfica se obtienen un resumen de los requisitos para el diseño y los aspectos eléctricos que debe cumplir el vehículo:

**Tabla 7**

Aspectos establecidos por el reglamento

| CONDICIONES DE DISEÑO |   |
|-----------------------|---|
| 1                     | El alto del vehículo deberá ser inferior a 1000 mm  |
| 2                     | El ancho del vehículo deberá ser, al menos, de 500 mm, medidos entre los puntos medios de las ruedas de mayor trocha y máximo 1300 mm   |
| 3                     | El largo del vehículo no podrá superar los 3500 mm  |
| 4                     | Los vehículos deben tener una zona mínima de seguridad de 100 mm desde el frente del vehículo hasta los pies del piloto   |
| 5                     | Se sugiere a los equipos conservar una distancia de por lo menos 15 cm entre el piso del vehículo y la carretera  |
| 6                     | El peso máximo del vehículo, sin incluir al piloto, no podrá superar los 120 kg   |
| 7                     | Todos los vehículos deben tener un sistema de protección de volcamiento que prevenga que alguna parte del cuerpo del piloto entre en contacto con el suelo de la pista, garantizando el triángulo de vida |
| 8                     | Deberá tener un piso o estructura que evite que los pies del piloto toquen el piso una vez el piloto se encuentre en el vehículo  |
| 9                     | Los vehículos deben estar completamente cubiertos (carrocería de algún tipo), por un material que no se deforme con el viento, pero se debe asegurar que el piloto tenga visibilidad de 180°              |
| 10                    | Tener una distancia mínima de 5 cm, entre el casco (superficie más alta) y la barra antivuelco o techo de protección que cumpla con la misma función de dicha barra                                       |

|    |  |
|----|--|
| 11 | El cuerpo del piloto debe estar protegido contra impactos y volcamientos; además, debe permitir una rápida salida en caso de alguna eventualidad   |
| 12 | El sistema de protección de volcamiento del vehículo deberá soportar una carga de 1500 N aplicados en las direcciones de los tres ejes del vehículo  |
| 13 | Los vehículos deben tener al menos 3 ruedas en constante contacto con la pista   |
| 14 | Los rines deben ser compatibles con las dimensiones de las ruedas seleccionadas, de tal manera que se conserven los estándares de seguridad  |
| 15 | Los ejes de giro de las ruedas deben diseñarse para cargas en cantiléver, es decir, con un apoyo exclusivo en un extremo, en vez de un apoyo en ambos extremos, como sucede con las bicicletas |
| 16 | Las ruedas que por el diseño del vehículo estén localizadas al interior de la cabina, obligatoriamente deben estar cubiertas por una carcasa, para separarlas del piloto                       |
| 17 | Todas las instalaciones deben ser realizadas de tal manera que ninguna parte de las ruedas entre en contacto con otras partes del vehículo (cables, alambres, mangueras)                       |
| 18 | El sistema de giro se debe diseñar de tal manera que no exista en ningún momento contacto entre las ruedas y el chasis del vehículo  |
| 19 | La rueda más externa debe ser capaz de realizar un arco de 90° con un radio de 5 metros  |
| 20 | Un sistema eléctrico indirecto de giro es permitido, siempre que sea operado por un volante o algo similar   |
| 21 | Los vehículos deben estar equipados con dos sistemas de frenado, operados de manera independiente  |
| 22 | Es obligatorio utilizar frenos de disco en todas las ruedas  |
| 23 | Se permiten las posiciones en donde el piloto está sentado o tumbado hacia atrás   |
| 24 | El cinturón de seguridad debe estar sujeto al chasis en al menos 4 puntos, los cuales deben soportar el peso del vehículo junto con el del piloto suspendido en el aire                        |
| 25 | Los vehículos deben contar con espejos retrovisores para favorecer la visibilidad del piloto, aclaración: los espejos retrovisores pueden ser reemplazados por una cámara de visión trasera    |
| 26 | No se aceptan sistemas de alimentación independientes  |
| 27 | El vehículo debe incluir un sistema sonoro (bocina), que sirva para avisar de la presencia de éste cuando se requiera  |

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| 28                            | Debe contar con una señal luminosa(stop) trasero circular, con un diámetro mínimo de 5 cm, o su equivalente lineal, que se active cuando se accione cualquiera de los frenos   |
| 29                            | El vehículo debe estar completamente cubierto, es decir debe contar con una carrocería sujeta al chasis, que no permita que alguna parte del cuerpo del piloto se salga o esté en contacto con las ruedas del vehículo                 |
| 30                            | La cubierta del vehículo debe ser de un material no astillable   |
| 31                            | El piloto debe poder abandonar el vehículo en un lapso no superior a 20 segundos, sin ningún tipo de asistencia  |
| 32                            | Cada equipo debe contar con un extintor clase d o de co2, que sirva o este homologado para aplicar directamente sobre baterías de litio  |
| 33                            | Los vehículos podrán contar con componentes o dispositivos que alteren la carga aerodinámica   |
| 34                            | Las baterías deben estar encerradas en un "recipiente" o espacio que permita algún grado de aislamiento térmico e ignífugo, que no tenga elementos que promuevan la combustión (cartón, madera, plásticos y demás) en caso de incendio |
| <b>CONDICIONES ELÉCTRICAS</b> |  |
| 1                             | Voltaje para la batería principal no debe superar 48 v nominales   |
| 2                             | En caso de poseer arreglos electrónicos con dispositivos de almacenamiento secundarios, el voltaje total en el vehículo no debe superar los 60 v   |
| 3                             | La potencia neta máxima permitida de salida es 500w  |
| 4                             | Solo se permite una batería o arreglo de ellas, con una capacidad máxima total de 14 ah  |
| 5                             | Todo se debe alimentar de una sola batería principal   |
| 6                             | La potencia neta máxima permitida de salida es 500w  |
| 7                             | Todos los vehículos deben contar con un espacio entre la batería principal y el motor para ubicar un dispositivo de medición eléctrica   |
| 8                             | El circuito eléctrico puede tener dispositivos diferentes al motor (opcional)  |
| 9                             | El sistema debe desconectar automáticamente la batería, sin intervención humana, en caso de que se sobrepase un valor límite o se presente una condición de fuera de rango   |
| 10                            | Por razones de seguridad, los circuitos positivos y negativos de la batería o los super capacitores deben estar debidamente separados del chasis del vehículo o cualquier parte metálica   |

|    |  |
|----|--|
| 11 | El cableado eléctrico debe estar en buena condición, debidamente marcado, asegurado y no debe estar cerca de ninguna parte en movimiento   |
| 12 | En el caso de querer usar algún tipo de dispositivo de almacenamiento secundario de energía, se deberá indicar en el documento de que tipo es  |
| 13 | Todos los objetos en el vehículo deben quedar completamente sujetos; no se permitirá que el desplazamiento sea superior al 5 % de las dimensiones nominales  |
| 14 | Durante las competencias se permite la gestión de carga por medio de energías renovables   |
| 15 | El mecanismo de emergencia debe proveer una desconexión física del sistema de batería del sistema eléctrico del vehículo   |
| 16 | Debe contar con un fusible principal, ubicado justo a la salida de la batería en el terminal positivo La capacidad de este fusible debe ser calculada dependiendo de la corriente utilizada por el sistema |
| 17 | Debe existir un sistema de desconexión interno y externo de emergencia El sistema interno de emergencia será usado por el piloto   |
| 18 | Debe contar con un dispositivo de seguridad de hombre muerto   |
| 19 | El sistema externo de emergencia deberá ubicarse en la parte trasera del vehículo y para reactivarse deberá utilizar botones de rotación (hongo con enclavamiento directo y liberación por rotación)       |
| 20 | El sistema de seguridad de hombre muerto debe desconectar el circuito entre la batería y el motor; no obstante, se debe garantizar que, en caso de ser accionado, el registro de potencia no se suspenda   |

Ahora bien, las condiciones anteriores se agrupan en los siguientes parámetros técnicos de diseño, quienes se diligenciarán en el espacio correspondiente dentro de la casa de calidad:

**Tabla 8**

Parámetros técnicos de diseño de acuerdo con Reglamento

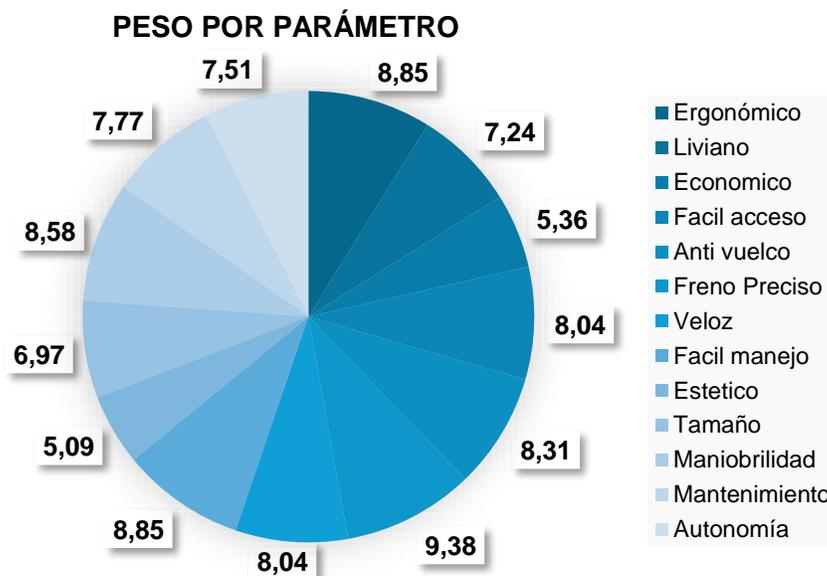
| PARÁMETROS DE DISEÑO TÉCNICO |                               |    |                      |
|------------------------------|-------------------------------|----|----------------------|
| 1                            | Liviano                       | 8  | Sistema de frenado   |
| 2                            | Dimensiones                   | 9  | Espejos retrovisores |
| 3                            | Único sistema de alimentación | 10 | Bocina               |
| 4                            | Seguro                        | 11 | Robusto              |

|   |                                  |    |                                |
|---|----------------------------------|----|--------------------------------|
| 5 | Mínimo tres ruedas en cantiléver | 12 | Fácil acceso                   |
| 6 | Maniobrabilidad                  | 13 | Batería de 48 V y 14 Ah máximo |
| 7 | Eficiente                        | 14 | Potencia máxima de 500 W       |

Estos parámetros son los que se diligencian en el apartado de “Quality Characteristics” en la casa de calidad. Por otro lado, al realizarse la encuesta a los pilotos bajo el formato y metodología descrita. Los resultados finales se grafican a continuación:

**Figura 24**

Resultados obtenidos de la encuesta aplicada a los pilotos



Nota: Diagrama circular del peso de cada parámetro obtenido de la encuesta

A partir del gráfico se seleccionaron los diez parámetros que además de tener mayor peso se alinean con el objetivo de economía y eficiencia. Estos se ubicaron en el espacio de “Demanded Quality” y se inició con el diligenciamiento de la casa de calidad relacionando cada parámetro según se indica en el marco conceptual. Una vez completada la casa de calidad se toman los parámetros de diseño con mayor ponderación o importancia para darles prioridad a la hora de tomar decisiones durante la elaboración del diseño, estos se presentan en la tabla 9.

**Tabla 9**

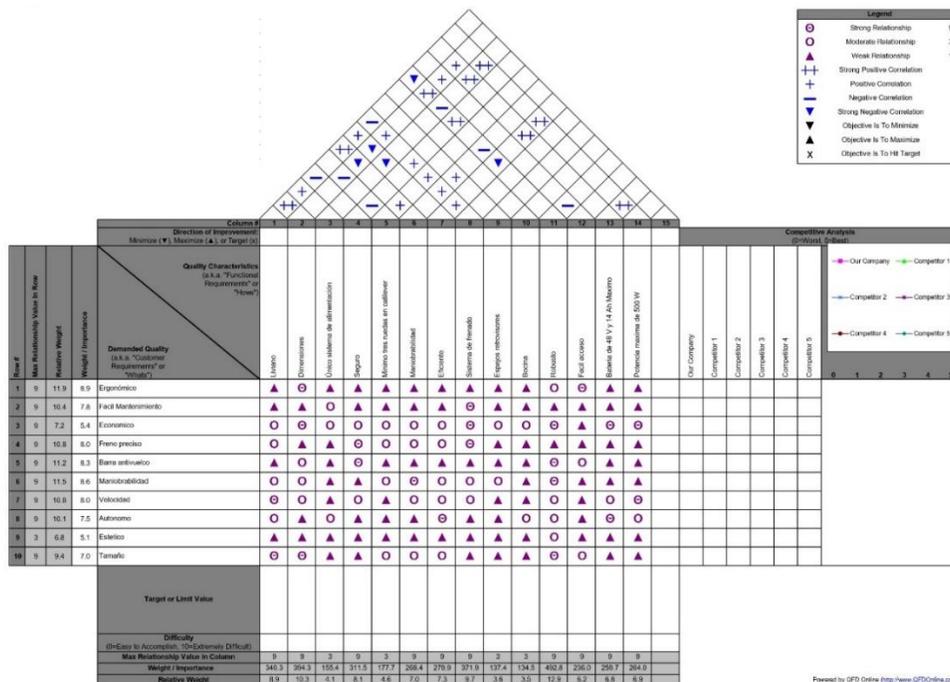
Parámetros de Diseño

| PESO | PARÁMETRO          | ESPECIFICACIÓN   |
|------|--------------------|--|
| 12.9 | Robusto            | Al ser cometido a cargar el vehículo no presenta fallas mecánicas en ninguno de sus componentes            |
| 10.3 | Dimensiones        | Las dimensiones del vehículo se encuentran dentro de su respectivo rango según se especifica en la tabla 7 |
| 9.7  | Sistema de frenado | El sistema de frenado propuesto garantiza una operación segura   |
| 8.9  | Liviano            | El peso del vehículo es menor a 120 Kg   |
| 8.1  | Seguro             | El diseño del vehículo, la barra antivuelco y el sistema de frenado garantizan la seguridad del piloto     |

Nota: Parámetros de diseño finales, a quienes se les dará prioridad al tomar decisiones de diseño.

**Figura 25**

Casa de calidad diligenciada



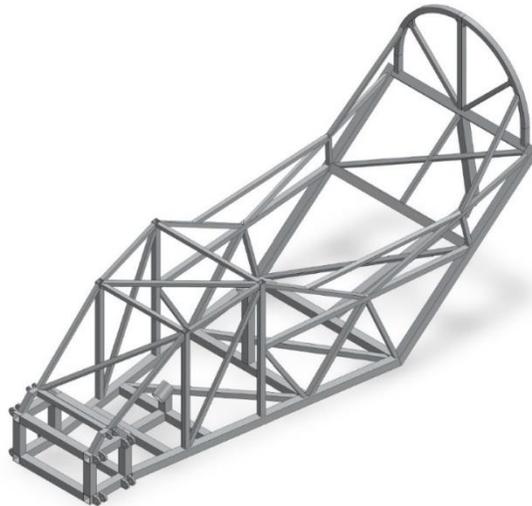
Nota: Casa de calidad de diligenciada según la relación que poseen sus parámetros.

## 4.2 ETAPA 2: DISEÑO CONCEPTUAL

A partir de los parámetros de diseño anteriormente establecidos y usando el software SolidWork2024® se llegó al siguiente diseño para el chasis:

**Figura 26**

CAD chasis



Nota: Chasis diseñado en el software Solidorwks2024®  
Fuente: Autoría propia

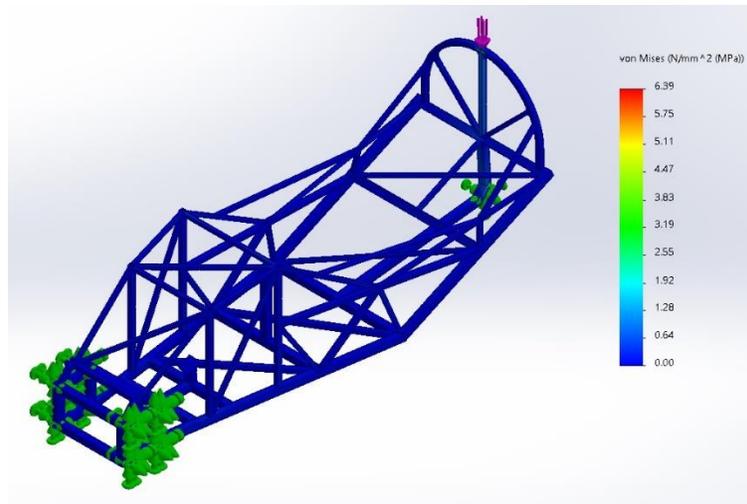
El chasis es propuesto en aluminio 6063 T5, ya que es el material encontrado comercialmente en la ciudad. Este material tiene un esfuerzo de fluencia 123 MPa. El chasis se compone de tres tipos de perfiles estructurales diferentes con tal de dar mayor facilidad de fabricación al tiempo que se cumple con la condición de rigidez. Del mismo modo la barra antivuelco posee platinas transversales que garantizan la estabilidad de esta la hora de soportar cargas. Las dimensiones generales del diseño son de 0.83 x 2.36 x 0.93 mm, quienes están en el rango de las dimensiones especificados por el reglamento. Por tanto, la geometría de este cumple con los parámetros.

Ahora bien, al momento de simular el chasis bajo el criterio de fallas de Von Mises y siguiendo la metodología propuesta se obtuvo los resultados presentes en la figura 27,

donde cabe resaltar el que el mayor esfuerzo fue de 6.39 MPa y se ubicó en la barra antivuelco y los soportes para las llantas.

**Figura 27**

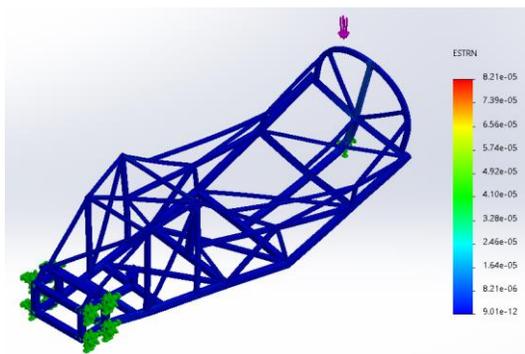
Esfuerzos simulados bajo el criterio de fallas de Von mises



Nota: Esfuerzos presentes en el chasis simulando una carga de 150 N en el eje Y como se indica en el reglamento de la competencia.

**Figura 28**

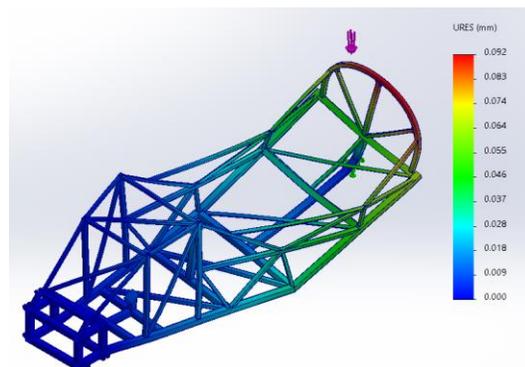
Deformaciones unitarias



Nota: Deformación unitaria a partir de la simulación en SolidWorks2024®.  
Fuente: autoría propia

**Figura 29**

Deformación



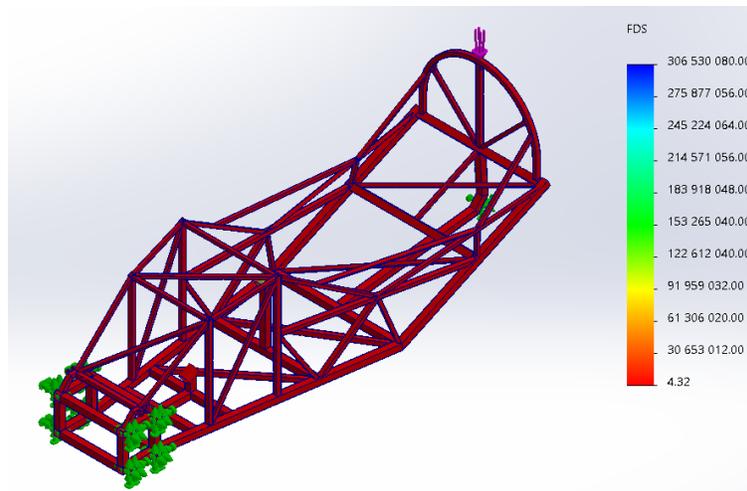
Nota: Deformación del chasis a partir de la simulación en SolidWorks2024®.  
Fuente: autoría propia

De la simulación también se obtienen la deformación y deformación unitaria del chasis bajo la carga aplicada, siendo estos como máximos 0.092 mm y 0.00008 respectivamente (ver figura 28 y 29). Dichos valores garantizan la estabilidad y rigidez del chasis, cumpliendo con los parámetros de diseño establecidos.

Del mismo modo se obtiene el factor de seguridad a partir de la simulación realizada dando como resultado la información presente en la figura 30. Los resultados muestran como el factor de seguridad presente en la mayor parte del chasis esta alrededor de 4.32, y no se presentan fallas mecánicas en ninguno de los elementos, por tanto, este queda validado

**Figura 30**

Factor de seguridad

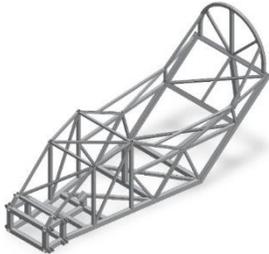


Nota: Factores de seguridad presentes en el chasis bajo las condiciones de carga aplicada.

Validado el chasis del vehículo se procede a seleccionar comercialmente los demás elementos de VTE, cuyas especificaciones técnicas se presentan en la tabla 10.

**Tabla 10**

Especificaciones técnicas de los componentes del VTE

| Foto Componente   | Especificaciones técnicas  |
|---|--|
|    | <p><b>Chasis tubular aluminio 6063 T5</b></p> <p>Perfil cuadrado 38.1 mm x 38.1 mm x 1.6 mm</p> <p>Perfil cuadrado 25.4 mm x 25.4 mm x 1 mm</p> <p>Perfil cuadrado 19.1 mm x 19.1 mm x 1 mm</p> <p>Perfil circular 60 mm x 1.2 mm</p>  |
|    | <p><b>Pieza dirección acero ASTM A-36</b></p> <p>Lámina de 840 mm x 840 mm x 7 mm</p>  |
|   | <p><b>Tubo dirección</b></p> <p>Perfil circular 31.8 mm x 1.5 mm x 1050 mm</p>   |
|  | <p><b>Amortiguador</b></p> <p>X AUTOHAUX Amortiguador trasero 7.480 in 650lbs</p> <p>Amortiguador de choque trasero para scooter de gas, bicicleta eléctrica.</p>  |
|  | <p>Bafang Rueda Trasera #26 500W 48V Motor De Cubo</p> <p>Kit De Conversión de bicicleta eléctrica. Batería 10.4 Ah. 38 - 40 Km/h - 470 RPM y una eficiencia de 80%.</p> <p>Este kit debe incluir:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Motor de cubo Bafang 1 piezas</li> <li>2.Pantalla Bafang C951 - C965 - 850C - C18 - 500C - 750C --- Opcional 1set</li> <li>3.palanca de freno 1 par</li> </ol> |

|   |  |
|---|--|
|   | <p>4. Acelerador<br/> 5.mthumble 1set<br/> 6.PAS 2 piezas<br/> 7.Controlador 1pc<br/> 8.caja del controlador 1 piezas<br/> 9.Rueda trasera 1 piezas<br/> 10.Cable de extensión 1 piezas<br/> 11. Cable 1T4 1 piezas<br/> 12.Luz LED 1pcs --- es un regalo gratis<br/> 13. batería y cargador</p> |
|    | <p><b>Batería de litio</b><br/> Batería 48V 10.4 Ah compatible con kit anterior</p>  |
|   | <p><b>Asiento</b><br/> Asiento de silla de montar de coche Go Kart de repuesto para Taotao Buggy Go kart triciclo de deriva</p>  |
|  | <p><b>Freno</b><br/> Freno Hidráulico Shimano Mt200</p>  |
|  | <p><b>Espejos retrovisores</b><br/> Espejos Retrovisores Bicicleta 360° Ajustable<br/> Seguridad X 2</p>   |

|   |   |
|---|---|
|    | <p><b>Llanta Rin 26</b><br/>Llanta De Bicicleta 26" X 1,95 Chaoyang Victory / Coraza Color Negro</p>  |
|    | <p><b>Neumático número 26</b><br/>Neumático Chaoyang Bicicleta Rin 26 válvula 33mm</p>                |
|    | <p><b>Rin 20</b><br/>Ruedas Shimano Mt35 26 Center Look</p>   |
|   | <p><b>Llanta Rin 20</b><br/>Llanta Rin 20 Optimus Bicicleta Bmx 20 X 2.35 Bicicleta</p>               |
|  | <p><b>Neumático número 20</b><br/>Neumático con cámara de aire Bicicleta Rin 20 Válvula Americana</p> |
|  | <p><b>Rin 20</b><br/>Bonin Rueda trasera BMX Mono 20'' x 1.75</p>                                     |

Ahora bien, los componentes no comerciales como el chasis y la dirección, quienes son de diseño propio, poseen planos de fabricación en el anexo 4, el chasis y la dirección en el

plano FAB-VTE-001 y las tijeras del chasis en el ENS-VTE-00. Estos planos contienen información sobre los materiales, tolerancias y soldadura que deben ser aplicadas al momento de manufacturar estas piezas.

#### 4.2.1 Análisis de velocidad y autonomía del vehículo

Con las especificaciones del motor y partir del peso del vehículo permitido por el reglamento (120kg) se calcula la velocidad máxima que este puede llegar a tener como mínimo, suponiendo un piloto de en promedio 80 kg.

**Tabla 11**

Datos del motor

| Datos del motor                               |          |                  |
|---|----------|------------------|
| Variable                                      | Cantidad | Unidad           |
| Potencia                                      | 500      | W                |
| Torque  | 60       | N-m              |
| RPM   | 470      | RPM              |
| Eficiencia                                    | 80       | NA               |
| Radio Llanta                                  | 0.3302   | m                |
| Coefficiente de fricción neumático y concreto | 0.02     | NA               |
| Masa del vehículo y piloto                    | 200      | kg               |
| Gravedad                                      | 9.81     | m/s <sup>2</sup> |

Usando las siguientes ecuaciones se busca la velocidad máxima:

**Tabla 12**

Ecuaciones para análisis de velocidad

| Ecuación |                    | Especificación                                      |
|----------|--------------------|---|
| 1        | $F = f_f \times N$ | Fuerza de empuje necesaria para romper la fricción. |
| 2        | $N = m \times g$   | Normal  |
| 3        | $T = r \times F$   | Torque de la llanta                                 |

|                     |  |                |
|---------------------|--|----------------|
| 4                   | $P = F \times V$   | Potencia       |
| 5                   | $Vel_{real} = n \times V$  | Velocidad real |
| <b>Aclaraciones</b> |  |                |
| 1                   | La resistencia aerodinámica es despreciable debido a que se trata de un vehículo pequeño que no alcanzara velocidades muy altas                                    |                |
| 2                   | La resistencia de la gravedad es despreciable por que los análisis se harán para superficies normalmente planas, quienes no superan las inclinaciones de 5 grados. |                |

Desde la ecuación de la fuerza de empuje se obtiene que esta tiene un valor de 39.24 N y con este valor se calcula la velocidad, despejando esta variable de la ecuación 4 reemplazando a P como la potencia del motor, para luego multiplicarse por la eficiencia dada por la ficha técnica y finalmente calculando la velocidad del vehículo.

**Tabla 13**

Resultado de las ecuaciones

| <b>Resultados</b> |              |               |
|-------------------|--------------|---------------|
| <b>Variable</b>   | <b>Valor</b> | <b>Unidad</b> |
| N                 | 1962         | N             |
| F                 | 39.24        | N             |
| V                 | 12.74        | m/s           |
| $V_{real}$        | 10.2         | m/s           |

Nota: Cabe destacar que estos valores son en condiciones ideales

La velocidad de 10.2 m/s está en el rango de las velocidades promedios para este tipo de vehículos, que van hasta los 15 m/s. Teniendo en cuenta que este valor corresponde a una masa límite de 120 kg del es un buen resultado ya que el peso real del VTE será menor debido al material de chasis, quien tiene un peso de aproximadamente de 17 a 20 kg teniendo en cuenta variables como la soldadura u otros ajustes durante una hipotética fabricación. Del mismo modo se debe tener en cuenta el peso de los demás componentes, por tanto, trabajar con el límite proporcionado por la competencia tiene sentido.

La autonomía del vehículo es proporcionada por el rendimiento de las baterías y la velocidad a la que se opere el vehículo, sin embargo, se puede establecer un aproximado a partir de las especificaciones del fabricante del motor, quien ofrece autonomías entre 30 y 60 km bajo condiciones ideales en función del peso del vehículo y del ciclista. Bajo las

condiciones de diseño y de operación durante la competencia se tendrá una autonomía en promedio de 50 km.

Ahora bien, con el bajo peso del vehículo debido a las condiciones de diseño y con la eficiencia del motor la autonomía y eficiencia del VTE en su conjunto se ve incrementada en comparación con los coches eléctricos promedios, quienes poseen eficiencias máximas de un 70%.

Por otro lado, durante la competencia la batería del vehículo está en constante operación y por tanto estas tendrán que ser recargadas o reemplazadas. Para solucionar esto se cuenta con baterías de repuesto. El vehículo se mantendrá en operación durante un lapso de 2 a 3 horas antes de que sea necesario el reemplazo o carga de las baterías.

### **4.3 ETAPA 3: PLANOS A DETALLE Y PRESUPUESTO**

Con el diseño validado y los componentes seleccionados se realizan los planos a detalle del vehículo siguiendo la metodología planteada. Los planos corresponden a fabricación y ensamble; el de fabricación se compone del chasis y la dirección, quienes con los componentes que requieren de especificaciones para su manufactura. Estos contienen información del tipo de soldadura según el perfil al que se le aplique y la posición de este, la tolerancia se establece dentro del rango de 1 mm y los acabados se establecen en SSPC Sp3. Para más detalles consultar el anexo 4, plano FAB-VTE-001. El plano de ensamble contiene la vista isométrica del diseño conceptual de vehículo, es decir, el chasis, dirección y llantas, da información específica de los pernos o tornillos necesarios y las diferentes vistas del diseño, recalando como algunos de los componentes comerciales pueden variar según el modelo de chasis y dirección lo permita (ver anexo 4, plano ENS-VTE-001).

Una vez realizado los planos es posible establecer el presupuesto general del costo del vehículo incluyendo materiales y consumibles (ver tabla 14)

**Tabla 14**

## Presupuesto VTE diseñado

| PIEZA                                     | ESPECIFICACIÓN   | VALOR UNITARIO POR METRO (USD) | CANT. NECESARIA | CANT. REAL | TOTAL (USD) |
|---|--|--------------------------------|-----------------|------------|-------------|
| CHASIS ALUMINIO 6063 T5                   | Tubo cuadrado 38.1 mm x38.1 mm x1.6 mm                           | \$ 3.61                        | 8.66 m          | 12         | \$ 43.32    |
|   | Tubo cuadrado 25.4 mm x25.4 mm x1 mm                             | \$ 2.32                        | 10.65 m         | 12         | \$ 27.84    |
|   | Tubo cuadrado 19.1 mm x19.1 mm x1 mm                             | \$ 1.80                        | 11.1 m          | 12         | \$ 21.60    |
| DIRECCIÓN                                 | Lámina acero ASTM A-36 840 mm x 840 mm x7 mm                     | \$ 32.32                       | 0.005 m2        | 0.7        | \$ 22.62    |
|   | Tornillo media rosca M8 x 1                                      | \$ 2.00                        | 3               | 5          | \$ 10.00    |
|   | Tuerca hexagonal M8 x 1  | \$ 0.07                        | 6               | 12         | \$ 0.78     |
|   | Arandela M8  | \$ 0.07                        | 6               | 12         | \$ 0.78     |
| AMORTIGUADOR                              | X AUTOHAUX Amortiguador trasero 7.480 in 650lbs                  | \$ 36.30                       | 1               | 1          | \$ 36.30    |
| KIT DE CONVERSIÓN DE BICICLETA ELÉCTRICA. | Batería 10.4 Ah. 38 - 40 Km/h - 470 RPM y una eficiencia de 80%. | \$ 739.00                      | 1               | 1          | \$ 739.00   |
| BATERÍA DE LITIO                          | Batería 48V 10.4 Ah compatible con kit anterior                  | \$ 261.44                      | 2               | 2          | \$ 522.88   |
| ASIENTO                                   | Asiento de silla de montar de coche Go Kart                      | \$ 128.35                      | 1               | 1          | \$ 128.35   |
| RODAMIENTOS                               | NTN 60/32  | \$ 8                           | 2               | 2          | \$ 16       |
| FRENO                                     | Freno Hidráulico Shimano Mt200                                   | \$ 26                          | 3               | 3          | \$ 78       |
| ESPEJOS RETROVISORES                      | Espejos Retrovisores Bicicleta 360° Ajustable Seguridad X 2      | \$ 2.50                        | 2               | 2          | \$ 5.00     |
| RINES                                     | Rin Ø 26   | \$ 25.40                       | 1               | 1          | \$ 25.40    |
|   | Rin Ø 20   | \$ 24.80                       | 1               | 1          | \$ 24.80    |
| LLANTAS                                   | Llanta rin Ø26   | \$ 9.15                        | 1               | 1          | \$ 9.15     |
|   | Llanta rin Ø 20  | \$ 11.00                       | 1               | 2          | \$ 22.00    |
| NEUMÁTICOS                                | Neumático rin Ø 26   | \$ 3.80                        | 1               | 2          | \$ 7.60     |
|   | Neumático rin Ø 20   | \$ 4.20                        | 1               | 2          | \$ 8.40     |
| CONSUMIBLES                               | Set 15 brocas HSS BD15033 de Ø 1/16" a Ø 3/8"                    | \$ 15.60                       | 1               | 1          | \$ 15.60    |
|   | Disco Flap Grano 120 4.1/2 Pulgadas                              | \$ 5.20                        | 1               | 1          | \$ 5.20     |

|              |   |           |   |                    |           |
|--------------|---|-----------|---|--------------------|-----------|
|              | Disco Abrasivo Corte Aluminio 4 1/2" x 1/16"  | \$ 2.25   | 1 | 1                  | \$ 2.25   |
|              | Grata circular 4 1/2"   | \$ 10.70  | 1 | 1                  | \$ 10.70  |
|              | Aporte de aluminio para equipo TIG Ø 3/32"  | \$ 210.00 | 1 | 1                  | \$ 210.00 |
|              | Argón STD industrial en cilindro - 6 m <sup>3</sup>   | \$ 105.37 | 1 | 1                  | \$ 105.37 |
|              | Cilindro en acero al carbón para contener gas argón. Con prueba hidrostática vigente, pintura y válvula para llenado de gas con su tapa protectora de válvula | \$ 373.25 | 1 | 1                  | \$ 373.25 |
| <b>TOTAL</b> |   |           |   | <b>\$ 2 472.19</b> |           |

El presupuesto se establece en dólares y estos valores pueden llegar a variar debido a que el valor del peso colombiano varía según lo hace esta moneda, además que muchas de las piezas comerciales si bien se encuentran a nivel nacional son primeramente importadas en dólares, por tanto, se hace necesario que el presupuesto también varíe en función de esta divisa.

Un coche eléctrico cuesta en promedio hasta \$66.000 USD, lo que en comparación con los casi \$2.473 USD que cuesta el VTE diseñado es mucho más costoso, pues vale más de 22 veces lo que cuesta el vehículo aquí diseñado.

## **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:**

La metodología QFD, mediante la herramienta Casa de la Calidad, ha demostrado ser invaluable para establecer parámetros de diseño claros y priorizados, lo cual es fundamental para el desarrollo exitoso de un diseño conceptual, ya que captura las necesidades y expectativas del cliente de manera exhaustiva mediante un análisis detallado de sus requisitos explícitos e implícitos, traduce las necesidades del cliente en atributos de diseño medibles que puedan evaluarse y optimizarse durante el proceso, establece relaciones entre las necesidades del cliente y los atributos de diseño y comunica de manera efectiva la información ponderando cada parámetro según las relaciones establecidas.

Los vehículos de tracción eléctrica son una solución a los retos ambientales y energéticos que el mundo enfrenta por la creciente demanda de energía y contaminación ambiental, razón por la que el diseño de un vehículo de tracción eléctrica gana relevancia, no solo por alternativas de transporte, sino porque en un futuro responderán a las demandas exigentes.

Se logró obtener un vehículo de tracción eléctrica eficiente autónomo y económico que además de cumplir con los requisitos de la IV competencia nacional de vehículos de tracción eléctrica tiene un costo de poco menos de \$2.473 USD siendo capaz de resistir hasta 6 MPa y con deformación máximas que no superan el milímetro, alcanzando velocidades de hasta 10 m/s, lo cual lo hace competente con otros VTE siendo un ejemplar cuyas características muestran ser más amigables con el medio ambiente si se le compara con otros vehículos al tiempo que le garantiza seguridad e integridad al piloto.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- ADN Lean. (2024). *QFD: ¿Qué es casa de la calidad?* admin.
- Alfaraz, J. G. (2017). La suspensión de nuestros coches (IV) Suspensión inteligente. In *Motor.es*.
- Asociación Nacional de Movilidad Sostenible (ANDEMOS). (2023). *Radiografía del sector automotor colombiano 2023*.
- Autocosmo. (2020). *Carros usados y nuevos de todas las marcas en Colombia*.
- Bermeo Ojeda, S. V., & Fogacho Chiluzza, L. R. (2022). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CHASIS, CARROCERÍA, DIRECCIÓN, FRENOS Y SUSPENSIÓN PARA UN VEHÍCULO MONOPLAZA ELÉCTRICO*.  
<http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/17109>
- Budynas, R. G., & Keith Nisbett, J. (n.d.). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición*.
- Caballo, F., & Cabero, R. (2019). *DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO LIGERO PARA MOVILIDAD URBANA E INTERURBANA Memoria y Anexos*.  
[https://core.ac.uk/display/288625352?source=1&algorithmId=15&similarToDoc=560336294&similarToDocKey=CORE&recSetID=9ba39edd-0d33-482f-9b7f-74f27d803f6b&position=1&recommendation\\_type=same\\_repo&otherRecs=288625352,30046397,234592086,200328064,290000095](https://core.ac.uk/display/288625352?source=1&algorithmId=15&similarToDoc=560336294&similarToDocKey=CORE&recSetID=9ba39edd-0d33-482f-9b7f-74f27d803f6b&position=1&recommendation_type=same_repo&otherRecs=288625352,30046397,234592086,200328064,290000095)
- Central de Repuestos TR. (2017). *Bastidor de los Vehículos*.  
<https://centralderepuestostr.com/bastidor/>
- Espinosa fonseca, N. (2023). *Diseño y manufactura de un chasis en fibra de carbono para un vehículo eléctrico*.
- FENALCO, & ANDI. (2023). *BOLETÍN VEHÍCULOS NUEVOS HASTA MARZO 2023*.  
<https://www.andi.com.co/Uploads/03.%20INFORME%20MENSUAL%20VEH%C3%8DCU%20LOS%20MARZO%202023-PRENSA.pdf>
- Givens, R. J. (2022). *Diseño de Vehículos*.
- González, L. (n.d.). Vida y muerte de una batería de ion-litio (parte II). In *forococheselectricos*.  
Forococheseléctricos. Retrieved April 28, 2024, from  
<https://forococheselectricos.com/2013/05/vida-y-muerte-de-una-bateria-de-ion-2.html>
- Guerra, E. (2022). Dirección mecánica: ventajas y desventajas. In *Gossip Vehiculos*.  
Gossipvehiculo.
- Institución Universitaria Pascual Bravo. (2024). *IV COMPETENCIA NACIONAL DE VEHÍCULOS DE TRACCIÓN ELÉCTRICA Preámbulo*.

- João Catharino, A. (2022). *PNEU RADIAL OU DIAGONAL: QUAIS SÃO AS DIFERENÇAS?*
- Larminie, F., & Lowry, J. (2020). *Electric Vehicle Technology Explained* (Second).
- Menosfutbolmascarreras.es. (n.d.). *Prototipo BMW E30 325 - chasis tubular*. Retrieved April 27, 2024, from <https://www.menosfutbolmascarreras.es/viewtopic.php?f=110&t=3242&start=60>
- Nogales, M. (2024). Frenos de tambor: qué son y cómo funcionan. In *Todas las noticias de coches en un solo portal: Pruebas, fotos, v\u00eddeos, informes*.
- Notario, B. M. (2015). Cómo funciona la dirección eléctrica que no tardará en llegar. In *Todas las noticias de coches en un solo portal: Pruebas, fotos, v\u00eddeos, informes*.
- Palencia, L. C. (2020). *Tecnología del Automóvil*.
- Pruebaderuta.com. (2015). Carrocería monocasco. In *Más que un blog de automóviles*. Pruebaderuta.com. <https://www.pruebaderuta.com/carroceria-monocasco.php>
- Rosario, D. H. (n.d.). ¿Qué es la dirección hidráulica y cómo funciona? In *Com.ar*.
- Universidad Politécnica de Madrid. (2023). *Análisis del comportamiento electroquímico de las baterías de litio-ion para su aplicación en vehículos eléctricos*.
- Vega Cáceres, B. S., Díaz García, E. D., & Ardila Gómez, S. A. (2023). Diseño de un vehículo para la competición Shell Eco-Marathon. *Revista Mutis*, 13(2), 1–16. <https://doi.org/10.21789/22561498.1987>
- Virtualllantas.mx. (2020). Llantas para Coches y Camionetas - Virtual Llantas. In *Virtualllantas.mx*.

## 7 ANEXOS

Para los anexos ver archivos adjuntados a este documento tal como se relaciona en la tabla 15.

**Tabla 15**

Anexos

| <b>Anexo</b> | <b>Nombre archivo</b> | <b>Descripción</b>    |
|--------------|-----------------------|-----------------------|
| 1            | Anexo 1. ENS-VTE-001  | Plano de ensamble VTE |
| 2            | Anexo 2. FAB-VTE-001  | Plano de detalle VTE  |