



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

TEMA:

**INGENIERÍA INVERSA Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN
DE LA BATERÍA DE UN VEHÍCULO URBANO ELÉCTRICO**

AUTORES: CUNGUÁN TELPIS DARÍO PAÚL

ULCUANGO NOVOA BYRON RODRIGO

DIRECTOR: ING. FAUSTO EDUARDO TAPIA GUDIÑO, MSc.

IBARRA, ABRIL 2023

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "INGENIERÍA INVERSA Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA BATERÍA DE UN VEHÍCULO URBANO ELÉCTRICO" presentado por el señor: Ulcuango Novoa Byron Rodrigo con número de cédula 1722633755 y Cunguán Telpis Darío Paúl con número de cédula 1724848526, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 08 días del mes Marzo del 2023.



Atentamente

Ing. Fausto Eduardo Tapia Gudíño, MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1722633755	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ulcuango Novoa Byron Rodrigo	
DIRECCIÓN:	Dr. Luis Dávila Pérez 3-57, Yacucalle, Ibarra	
EMAIL:	brulcuangon@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	5003370	TELÉFONO MÓVIL: 0939656392

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1724848526	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cunguán Telpis Darío Paúl	
DIRECCIÓN:	Rumiñahui y Rocafuerte, Pedro Moncayo - Pichincha	
EMAIL:	dpcunguant@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	2366054	TELÉFONO MÓVIL: 0994637811

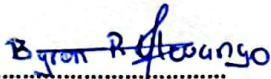
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	INGENIERÍA INVERSA Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA BATERÍA DE UN VEHÍCULO URBANO ELÉCTRICO
AUTOR (ES):	Ulcuango Novoa Byron Rodrigo Cunguán Telpis Darío Paúl
FECHA: DD/MM/AAAA	06/04/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Fausto Eduardo Tapia Gudiño, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 06 días del mes de abril de 2023

EL AUTOR:



Ulcuango Novoa Byron Rodrigo



Cunguán Telpis Darío Paúl

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a todas las personas que me apoyaron en este proceso de formación académica, a mis padres por ser la fuente de inspiración y fortaleza en los momentos duros de este caminar además de darme apoyo incondicional en estos años, a mi hermana, abuelos y tíos que forman parte de cada meta lograda en mi vida.

Cunguán Telpis Darío Paúl

Dedico este trabajo de grado a todas las personas que han formado parte de mi camino académico, en especial a mi familia, amigos y profesores, por su constante apoyo, motivación y enseñanzas. Gracias por creer en mí y por ayudarme a alcanzar este logro tan importante en mi vida.

Ulcuango Novoa Byron Rodrigo

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a mi familia, quienes, con su apoyo en los momentos cruciales de mi carrera, fueron los que me alentaron a continuar. Principalmente a mis padres; Bolívar y Gloria, los que me dieron la educación y el apoyo a lo largo de estos años de formación profesional.

Así también a todos mis demás familiares tíos, primos, abuelos quienes desde el inicio me supieron apoyar con un granito de arena con sus palabras.

Cunguán Telpis Darío Paúl

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que hicieron posible la elaboración de este trabajo de grado. Agradezco a mis profesores y tutores por guiarme en el proceso de investigación y brindarme su conocimiento y experiencia en el área automotriz.

Sin embargo, no puedo dejar de mencionar a las personas que siempre han estado a mi lado en cada etapa de mi vida; mis hermanas y familia, tíos y sobre todo en especial a mis padres Aida Novoa y Rodrigo Ulcuango, ustedes han sido mi mayor fuente de inspiración y motivación para salir adelante incluso en los momentos más difíciles. Gracias por creer en mí, por su paciencia y por su amor incondicional. Este logro no habría sido posible sin su constante apoyo.

Ulcuango Novoa Byron Rodrigo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	x
CAPÍTULO I	1
1.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo general	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 Justificación	1
1.3 Antecedentes	3
1.4 Planteamiento del problema	5
1.5 Alcance	6
1.6 Vehículos eléctricos	6
1.6.1 Clasificación de los vehículos eléctricos	7
1.6.1.1 HEV (vehículos híbridos eléctricos)	7
1.6.1.2 PHEV (vehículos híbrido eléctrico enchufable)	8
1.6.1.3 EV (Vehículo Eléctrico)	9
1.7 Componentes de vehículos eléctricos	10
1.7.1 Motor eléctrico	10
1.7.2 Baterías	11
1.7.3 Conversor DC/DC	11
1.7.4 Inversor DC/AC	11
1.8 Baterías	12
1.8.1 Tipos de baterías	12
1.8.1.1 Baterías de Plomo y Ácido	12
1.8.1.2 Baterías de Níquel Cadmio (NiCd)	13
1.8.1.3 Baterías de Níquel-Hidruro Metálico (NiMh)	13
1.8.1.4 Baterías de Iones de Litio (Li-ion)	14
1.8.1.5 Baterías de Polímero de Litio	14
1.8.2 Proceso químico de baterías	15
1.8.3 Carga y descarga de las baterías	15
1.8.4 Efectos de la temperatura	16
1.9 Transferencia de calor	16
1.9.1 Modos de transferencia de calor	16
1.9.1.1 Conducción	16
1.9.1.2 Convección	17

1.9.1.3 Radiación	17
1.10 Mecánica de fluidos	17
1.10.1 Caudal y velocidad media del fluido	18
1.10.2 Número de reynolds	18
1.10.3 Flujo laminar	18
1.10.5 Flujo turbulento	18
1.10.6 Rugosidad relativa	19
1.11 Sistemas de refrigeración de batería	19
1.11.1 Tipos de sistemas de refrigeración	20
1.11.1.1 Refrigeración por aire	20
1.11.1.2 Sistema de refrigeración por aire de la cabina	20
1.11.1.3 Sistema de refrigeración por aire independiente	21
1.11.1.4 Sistema de refrigeración directa	21
1.11.1.5 Refrigeración por líquido	22
1.11.1.6 Refrigeración directa fluido dieléctrico	22
1.11.1.7 Refrigeración indirecta a base de agua y glicol	23
1.11.1.8 Refrigeración termoeléctrica (TEC)	24
1.12 Componentes de un sistema de refrigeración	25
1.12.1 Ventiladores automotrices	25
1.12.2 Sistema de gestión de batería (BMS)	25
1.12.3 Sensores de temperatura	25
CAPÍTULO II	27
2. MATERIALES Y MÉTODOS	27
2.1 Metodología de la investigación	27
2.1.1 Método experimental	27
2.1.2 Método documental	28
2.1.3 Método analítico	28
2.1.4 Método cuantitativo	28
2.1.5 Método explicativo	29
2.2 Materiales y equipos	29
2.2.1 Materiales	29
2.2.1.1 Renault Twizy	29
2.2.2 Software	31
2.2.2.1 SolidWorks	31
2.2.3 Equipo	32
2.2.3.1 Scanner MaxiCheck MX808	32
2.3 Procesos metodológicos	32
2.3.1 Caracterización del sistema de refrigeración	34

2.3.2 Prueba de ruta	36
2.3.2.1 Prueba a velocidad media 30 km/h – 60 km/h:	37
2.3.2.2 Prueba a velocidad alta 60 km/h – 80 km/h:	37
2.3.2.4 Especificaciones de desempeño	38
2.3.2.5 Valores obtenidos a velocidad media	38
2.3.2.6 Valores obtenidos a velocidad alta	39
2.3.3 Caracterización de los tipos de refrigeración	40
2.3.3.1 Caracterización del sistema de refrigeración por aire	41
2.3.3.2 Caracterización del sistema de refrigeración por líquido	42
2.3.3.3 Caracterización del sistema de refrigeración combinado (aire-líquido)	44
2.3.3.4 Selección del sistema a implementar	46
2.3.4 Modelado CAD en Solidworks	48
2.3.4.1 Diseño CAD componentes del vehículo	48
2.3.4.2 Diseño CAD de la Batería de tracción y sus componentes	48
2.3.4.3 Ensamblaje CAD vehículo Renault Twizy	50
2.3.5 Simulación del sistema seleccionado	50
CAPÍTULO III	52
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
3.1 Estudio del comportamiento de refrigeración de batería	52
3.1.1 Simulación térmica en la prueba a velocidad media	54
3.1.2 Simulación térmica en la prueba a velocidad alta	57
3.1.3 Resultados de simulación de la prueba a velocidad media y alta	60
3.2 Rediseño del sistema de refrigeración de baterías	61
3.2.1 Ventilador utilizado para el sistema de refrigeración propuesto	62
3.2.1.1 Diseño cad del ventilador	62
3.2.1.2 Especificaciones técnicas del ventilador al software de simulación solidworks	63
3.2.2 Rediseño del pack de baterías	64
3.3 Ensamblaje de los ventiladores a la tapa del pack de batería modificada	65
3.3.1 Verificación de la ubicación de los ventiladores	66
3.4 Circuito eléctrico de control para los ventiladores	67
3.5 Simulación del rediseño	69
3.5.1 Parámetros de simulación	69
3.6 Resultados de simulación del rediseño	71
3.7 Comparación de resultados	73
3.7.1 Análisis de resultados	75
3.8 Evaluación de eficiencia	76
3.8.1 Diseño del protector al sistema de refrigeración	77

3.8.1.2 Ensamblaje del protector	79
3.8.2 Costos de implementacion del sistema	80
3.8.3 Configuración del sistema de refrigeración	80
3.8.3.1 Análisis de eficiencia de la configuración del rediseño	81
CAPÍTULO IV	86
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
4.1 Conclusiones	86
4.2 Recomendaciones	87
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXOS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.		PÁGINA
1.1	Esquema conceptual de la configuración de un vehículo eléctrico	7
1.2	Esquema de un vehículo híbrido eléctrico	8
1.3	Sistema de propulsión PHEV	9
1.4	Elementos del vehículo eléctrico	10
1.5	Sistema de refrigeración de baterías	19
1.6	Sistema de refrigeración por aire de la cabina	20
1.7	Sistema de refrigeración por aire independiente	21
1.8	Sistema de refrigeración directa	22
1.9	Sistema de refrigeración de baterías mediante inmersión de fluido dieléctrico	23
1.10	Sistema de refrigeración indirecta por líquido Tesla Modelo 3	23
1.11	Sistema combinado que usa la refrigeración termoeléctrica y un sistema de enfriamiento por líquido	24
2.1	Renault Twizy	30
2.2	Simulación de flujo de aire en Solidworks Flow Simulation	31
2.3	Scanner	32
2.4	Flujograma de proceso metodológico	34
2.6	Vista inferior del Renault Twizy	35
2.7	Batería de tracción	35
2.8	Trayectoria realizada en la prueba de ruta	36
2.9	Resultados del scanner a velocidad media	38
2.10	Resultados del scanner a velocidad alta	39
2.11	Sistema refrigeración por aire forzado	41
2.12	Circuito refrigeración por líquido	43
2.13	Sistema combinado	45
2.14	Partes del renaul twizy	48
2.15	Módulo de batería	49
2.16	Modelado del pack de batería	49
2.17	Modelado del Vehículo	50
3.1	Simulación de flujo y temperatura del aire	53

3.2	Condiciones iniciales de la prueba a media velocidad	54
3.3	Temperatura y trayectoria del flujo de aire dentro del pack	55
3.4	Análisis de temperatura en la superficie del pack	56
3.5	Ventana del asistente de Simulación de SolidWorks	57
3.6	Análisis de temperatura dentro del pack sin refrigeración	58
3.7	Análisis de temperatura en la superficie del pack de baterías	59
3.8	Aumento de temperatura respecto a la velocidad	61
3.9	Diseño CAD del ventilador	63
3.10	Ingreso de valores de trabajo del ventilador	64
3.11	Tapa superior del pack de batería modificada	65
3.12	Ubicación de los ventiladores sobre la Tapa superior del pack de batería modificada	66
3.13	Trayectoria del flujo de aire	66
3.14	Circuito eléctrico inactivo	68
3.15	Circuito eléctrico activo	68
3.16	Parámetros de simulación	70
3.17	Trayectoria del flujo de aire	71
3.18	Dinámica de la disipación de calor en el sólido	72
3.19	Celda de batería refrigerada	73
3.20	Comparación entre la batería sin refrigeración y la batería con refrigeración	74
3.21	Reducción de temperatura	75
3.22	Reducción de temperatura superficial	76
3.23	Vista superior del protector	78
3.24	Vista interna del protector	78
3.25	Dimensionamiento del protector	79
3.26	Ensamblaje del protector	79
3.27	Ensamblaje final	85

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.		PÁGINA
2.1	Características del Renault Twizy	30
2.2	Batería de tracción	36
2.3	Diferencia de resultados en la prueba a velocidad media	39
2.4	Diferencia de resultados en la prueba a velocidad alta	40
2.5	Componentes del sistema de refrigeración por aire	41
2.6	Componentes del sistema de refrigeración por líquido	43
2.7	Componentes del sistema de refrigeración combinado	45
2.8	Puntuación para selección del sistema de refrigeración	47
2.9	Datos utilizados para la simulación	51
3.1	Estudio de flujo de aire	53
3.2	Temperatura dentro del pack de batería en la prueba a velocidad media	55
3.3	Temperatura en la superficie del pack de batería a velocidad media	56
3.4	Temperatura dentro del pack de batería en la prueba a velocidad alta	58
3.5	Temperatura en la superficie del pack de batería	60
3.6	Comparación de temperaturas del módulo entre pruebas	60
3.7	Ventilador seleccionado	62
3.8	Componentes del circuito eléctrico	67
3.9	Selección de materiales	71
3.10	Resultados de refrigeración	73
3.11	Comparación de resultados	75
3.12	Comparación de resultados en cada módulo	77
3.13	Costos de elementos empleados	80
3.14	Configuración empleada	81
3.15	Comparación de eficiencia	86

ÍNDICE DE ANEXOS

TABLA NÚM.		PÁGINA
I.1	Ficha técnica Ventilador ORION	93
II.1	Vistas y dimensionamiento de la tapa de batería modificada	94
III.1	Vistas y dimensionamiento Renault Twizy	95
IV.1	Vistas y dimensionamiento del modulo de batería	96
V.1	Temperaturas dentro de la batería	97

RESUMEN

En la presente investigación se rediseña y simula el sistema de refrigeración de la batería de alto voltaje del vehículo urbano eléctrico Renault Twizy, llevando un proceso metodológico ordenado de análisis de datos y rediseño establecido.

El sistema de refrigeración para la batería de alto voltaje del Renault Twizy tiene objetivo mantener la temperatura óptima de cada uno de los módulos de la batería de alta tensión de acuerdo lo recomendado por el fabricante, con el fin de mejorar la durabilidad y rendimiento de esta. Para ello se rediseñará el sistema empleando el aire como agente de enfriamiento mediante una convección forzada.

Primeramente, se desarrolla una fundamentación teórica rápida y concisa referente a la construcción de la batería considerando los parámetros de funcionamiento recomendados, así como también al estado del arte concerniente a los distintos tipos de sistemas de refrigeración empleados en los vehículos eléctricos.

Seguidamente, en la metodología mediante la realización de pruebas de funcionamiento del vehículo se logra determinar las condiciones en las cuales trabaja la batería de alto voltaje dichos datos pasan por un análisis para lograr seleccionar el sistema de refrigeración más apto para el vehículo.

Posteriormente, se realizan simulaciones mediante un software de ingeniería asistida por computador (CAE). Se presentan dos tipos de simulaciones, una del sistema actual implantado en el vehículo en el cual se muestra el direccionamiento del aire con respecto a la carrocería del vehículo y la otra utilizando el rediseño en la cual se realiza un análisis termodinámico de la batería mediante la aplicación de convección de aire forzada directamente sobre los módulos de la batería, esto con el fin de visualizar la disminución de la temperatura.

Finalmente, se ejecuta el análisis de datos con la finalidad de validar el rediseño al constatar que satisface las necesidades del vehículo y especialmente de la batería de alto voltaje.

ABSTRACT

In the present investigation, the cooling system of the high-voltage battery of the electric urban vehicle Renault Twizy is redesigned and simulated, carrying out an orderly methodological process of data analysis and established redesign.

The Renault Twizy high-voltage battery cooling system aims to maintain the optimal temperature of each of the high-voltage battery cells as recommended by the manufacturer to improve its durability and performance. For this, the system will be redesigned using air as a cooling agent through forced convection.

Firstly, a quick and concise theoretical foundation is made regarding the construction of the battery considering the recommended operating parameters, as well as the state of the art regarding the different types of cooling systems used in electric vehicles.

Next, in the methodology, by carrying out functional tests of the vehicle, it is possible to determine the conditions in which the high voltage battery works, said data goes through an analysis in order to select the most suitable cooling system for the vehicle.

Subsequently, simulations are carried out using computer-aided engineering (CAE) software. Two types of simulations were carried out, one of the current systems implanted in the vehicle in which the air routing is shown with respect to the vehicle body and the other using the redesign in which a thermodynamic analysis of the battery is carried out in which a forced air convection is applied directly on the coil to visualize the decrease in temperature.

Finally, data analysis is carried out to validate the redesign by verifying that it meets the needs of the vehicle and especially the high voltage battery.

INTRODUCCIÓN

El trabajo de los vehículos eléctricos va centrado principalmente y desde sus inicios en la concepción de una batería de alto voltaje que satisfaga las necesidades para las que fue diseñado el vehículo en el que va a ir instaladas, de tal forma día con día estas han ido implementado distintos materiales con el fin de optimizar la capacidad de almacenamiento de energía, durabilidad, eficiencia y seguridad.

El construir una batería cada vez mejor trae consigo una gran responsabilidad ya que los materiales utilizados deben trabajar dentro de un rango determinado de temperatura esto con la finalidad de alargar la durabilidad de la batería y garantizar la seguridad de los ocupantes del vehículo. Es por eso, tal y como avanzan la tecnología en las baterías se debe diseñar sistemas de refrigeración que garanticen el correcto funcionamiento de estas. Por ende, este proyecto busca mejorar el sistema de refrigeración de un vehículo urbano eléctrico para que garantice los parámetros de funcionamiento de su batería.

El presente proyecto se desarrolla de la siguiente manera:

Una fundamentación teórica la cual describe a la brevedad los distintos tipos de vehículos eléctricos en la cual se puntualiza la construcción, diseño del sistema de alimentación y su tipo de carga. De igual forma se hace referencia cada uno de los tipos de baterías existentes enfatizando sus parámetros de funcionamiento. Se menciona los sistemas de refrigeración creados hasta la actualidad puntualizando sus elementos y su construcción.

En el marco metodológico se detallará todos y cada uno de los procesos utilizados tanto para la obtención de datos generados por el vehículo en la cual nos mostrará como está trabajando la batería bajo circunstancias determinadas, así como también el análisis de cada una de las ventajas y desventajas que trae consigo los sistemas de refrigeración inmersos en este estudio con el fin de elegir el más adecuado.

Finalmente, una vez elegido el sistema de refrigeración óptimo para satisfacer las necesidades del vehículo, se realizará una simulación empleando el software de diseño asistido por computador SolidWorks, con el fin de obtener datos del funcionamiento termodinámico del sistema los cuales se analizará para la presentación de resultados de eficiencia del sistema seleccionado.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Optimizar el sistema de refrigeración de la batería de un vehículo urbano eléctrico aplicando ingeniería inversa.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar el tipo de sistema de refrigeración de batería sus componentes, así como la interacción directa e indirecta entre ellos y los parámetros de funcionamiento del sistema.
- Caracterizar el sistema de refrigeración de batería y rediseñar el sistema por medio de simulación con la utilización del software SolidWorks.
- Realizar un cuadro de comparación con los valores obtenidos del rediseño y análisis de parámetros mediante la simulación de pruebas de funcionamiento.
- Realizar una evaluación final de funcionamiento y eficiencia del rediseño realizado en base a los parámetros de trabajo de la batería.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los vehículos eléctricos son la apuesta a tener un cambio de la matriz energética las cuales son una opción como una alternativa económica y no contaminante, por lo que el uso en Ecuador cada año está en aumento y en un futuro no muy lejano la utilización de estos medios de transporte será en gran cantidad.

El cambio en la matriz energética se ve sustentado en la gran cantidad de gases de efecto invernadero (especialmente el CO₂) provocado por vehículos que consumen combustibles

fósiles, actualmente se ha contabilizado alrededor de 8 mil millones de toneladas de CO₂ al año, esto representa una concentración de CO₂ en la atmósfera de 385 ppm y por ende ocasiona un aumento en la temperatura (calentamiento global) (Medina and Valtierra 2010, pág. 50).

Los datos de CO₂ mencionados anteriormente se debe a la matriz energética del país ya que un 88% de las actividades de transporte, industriales y otros modos de producción dependen del petróleo y en lo que refiere a otros modos de energía ya sean eólicas, hidroeléctricas, u otras formas de energía renovable no alcanzan juntas ni el 8% de la matriz energética del país. Por lo tanto, con la utilización de vehículos eléctricos eficientes en lo que respecta a su sistema de alimentación (batería), se busca disminuir la concentración de CO₂ en la atmósfera para de este modo no llegar al llamado “PUNTO DE NO RETORNO”, que no es más que una concentración de aproximadamente 450 o 500 ppm de CO₂. Lo cual según el crecimiento de las emisiones de CO₂ está previsto que, se llegue a este valor en la próxima década en caso de no hacer un cambio drástico en la matriz energética mundial (Power 2019, pág. 24).

El plan nacional de desarrollo “TODA UNA VIDA” en el objetivo 3 del eje 1 hace mención a “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”, en este programa hace mención al cambio de la matriz productiva y la matriz energética y con esto reducir la dependencia del estado con los derivados fósiles, con la finalidad de reducir las emisiones que contribuyen al cambio climático y garantizar el patrimonio natural (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo(Samplades) 2017).

Uno de los componentes principales para el funcionamiento de los vehículos eléctricos son las baterías ya que de estos depende la autonomía y eficiencia de este, su reemplazo es de un valor económico alto y su reciclaje comprende grandes costos, de tal forma que la prevención y cuidado correcto hacia este tipo de baterías es de gran importancia.

Como se da a conocer uno de los mayores inconvenientes en el funcionamiento de este tipo de baterías es el calentamiento ya que estar en constante tiempo de uso aumenta su temperatura y esto disminuye la vida útil. Por tal razón se ha optado en mejorar su sistema de refrigeración.

La metodología del proyecto para su rediseño se basa en una investigación de los componentes del sistema de refrigeración de la batería del vehículo eléctrico mencionado,

para una vez identificar posibles modificaciones del sistema se pueda realizar una modificación que beneficie el resultado de refrigeración.

De acuerdo con los objetivos planteados el análisis e identificación de partes permite encontrar soluciones concretas del problema, teniendo en cuenta las posibles soluciones, para la mejora y cambio de su diseño, de tal forma se ve necesario establecer un seguimiento continuo de los resultados obtenidos y de los inconvenientes que se vayan presentando.

Por consiguiente, el proyecto investigativo buscara ayudar en el rediseño y desarrollo para la innovación de sistemas que garanticen una mejor refrigeración. El seguimiento de los resultados permitirá seleccionar la modificación con mejor resultado que a un futuro pueda ser tomado en consideración para la realización de nuevos diseños.

1.3 ANTECEDENTES

Las baterías de los vehículos al ser el elemento principal para el funcionamiento de vehículos eléctricos desde sus inicios, tuvo que verse involucrada en varios cambios y rediseños con el fin de mejorar su seguridad, eficiencia y sobre todo su autonomía.

Este desarrollo tecnológico inicia con la primera batería utilizada en un vehículo eléctrico, se trata de la batería de plomo-acido desarrollada por Gastón Planté en 1960, el primer uso que se le dio a esta batería fue en un ciclomotor eléctrico en 1867 en la exposición mundial de Paris (Moreno, 2016, pág. 118).

Posteriormente en 1881 en la exposición internacional de la electricidad fue utilizada en un coche eléctrico de tres ruedas invención de Gustave Trouve. Cabe mencionar que esta batería tenía una autonomía muy reducida ya que solo era de entre 25 a 50 km y su recarga tardaba de entre 8 a 14 horas. En años posteriores viene la inversión de Thomas Édison con la batería de níquel-hierro una batería que si bien tenía una mayor autonomía que la de Gastón Planté ya que ofrecía aproximadamente 129 km solamente generaba una velocidad de 32 km/h (Chan, 2002, pág. 2).

Luego de todos los estallidos sociales como las guerras mundiales, aparece en 1974 en la primera crisis petrolera la batería de plomo-acido que fue utilizada en un pequeño biplaza con estructura de aluminio y carrocería de plástico que lo llevo a tener una autonomía de 65 km. Tras varios años de desarrollo de vehículos de combustión y prototipos eléctricos en

1998, la California Air Resources Board (CARB) le da una mano a la electrificación de vehículos eléctricos ya que obligó a los fabricantes locales a producir una cuota mínima de vehículos de cero emisiones (Chan and Chau, 2017, pág. 1).

Es entonces que la empresa más importante de EEUU General Motors comience en 1990 a desarrollar un prototipo eléctrico, el cual fue presentado bajo el nombre de GM EV1 (era un pequeño biplaza) su primera versión en 1996 equipado con una batería de plomo-acido que le otorgaba una autonomía de 112 a 129 Km y su segunda versión en 1999 esta la más importante hasta el momento ya que utilizaron una batería más evolucionada compuesta de níquel e hidruro metálico (Ni-MH) que le daba una autonomía de 160 a 225 km (Vepachedu 2017, pág. 2).

Sin duda alguna hasta ese entonces la batería de níquel e hidruro metálico era la más avanzada y eficiente gracias a sus altas especificaciones como por ejemplo que tenía una densidad energética de 140 Wh/l y una energía específica superior a los 60 WH/kg. Finalmente en 2010 aparece la batería más comercializada y usada por fabricantes mundiales hasta este entonces, hablamos de la batería de iones de litio su autonomía varía de entre 150 a 210 km en vehículos de clase media como el Renault ZOE y de 393 km en vehículos de clase alta como es el Lotus Elise, pero claro considerando que estas autonomías las logran marcas que producen vehículos de combustión, híbridos y eléctricos (Helmers, 2014, pág. 8).

Gracias al desarrollo de nuevas tecnologías en automóviles las baterías han tenido que ver en un crecimiento del precio en estos metales y el ensamblaje de baterías y sus áreas auxiliares significan un 40% de la fabricación de un vehículo eléctrico (Leng et al. 2018, pág. 5).

La refrigeración de este tipo de baterías es un trabajo complejo, ya que este depende del diseño, materiales, tamaño en las que se enfocara si su refrigeración va ser por aire o líquido, si en su caso es por aire este lo realiza con el viento generado al encontrarse el vehículo en movimiento o mediante la inclusión de ventiladores, pero este método contiene una limitación, ya que solamente puede ser utilizado en baterías de tamaño reducido y como es conocido la gran mayoría de vehículos eléctricos las baterías ocupan prácticamente casi el tamaño del largo del vehículo. Debido a esto fue diseñado un sistema en el cual incluyen placas de refrigeración que se encuentran en contacto directo con las baterías e incluso existe

unas que se encuentran colocadas en medio de las celdas en las cuales circula un líquido refrigerante que puede ser a base de agua o de aceite dieléctrico, los cuales son impulsados mediante una bomba que mantiene al fluido en constante movimiento (Sarango, 2018, pág. 4).

La batería de los vehículos eléctricos debe funcionar en un rango no superior a los 45° C y tampoco por debajo de los 5°C debido a que hay alteraciones en las reacciones químicas que se producen dentro (Kuo and Garfinkel 2017, pág. 1).

El sistema típico de refrigeración de baterías está compuesto por tres partes principales: celda, placa fría e interfaz. Dándole a este diseño la ventaja de poder variar el modelo e incluso poder asociar el rediseño de las placas de refrigeración. La placa comúnmente encontrada que actúa de interfaz está compuesta de láminas de metal estampadas de aluminio, las cuales van soldadas entre sí para formar canales en el interior. La celda de la batería es parecida a un prisma con una delgada carcasa de aluminio; por otro lado, la interfaz entre celdas y la placa fría tienen una idealización de tolerancia de montaje cero (Kuo and Garfinkel 2017, pág 1).

Otro concepto básico de refrigeración de batería es la colocación de ventiladores que juntamente con el aire que ingresaba al tener el vehículo en movimiento generen su refrigeración y quitar el calor producida por la batería, pero más tarde al enviar a las baterías a la parte posterior de los asientos y el crecimiento de la cantidad de sus celdas que son en la mayoría de los casos 100 celdas dificulto la utilización de este diseño por falta de eficiencia (Neubauer, Wood, and Pesaran 2015, pág 21).

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema principal en las baterías de los vehículos eléctricos es la temperatura elevada que tienen mientras están en uso máximo, y esto no es tan amigable para los componentes internos de la batería, ya que, al trabajar en temperaturas elevadas se genera un calor al interior del paquete de celdas provocando que se reduzca su eficiencia y genera una pérdida de potencia eléctrica durante el funcionamiento. Cabe mencionar que además de la pérdida de eficiencia de la batería al trabajar a elevadas temperaturas, también se produce un envejecimiento prematuro en las mismas. Y esto a su vez ocasiona que tengan que ser

reemplazadas mucho antes de que cumplan con su vida útil teórica (Leng et al.,2018, pág. 8).

Tras lo mencionado anteriormente se debe considerar que en la mayoría de los casos al menos en el Ecuador sustituir o adquirir una batería nueva tiene un alto costo, tanto que puede llegar a igualar el costo de un nuevo vehículo o por lo menos a costar un 50% del mismo.

1.5 ALCANCE

La presente investigación tiene como finalidad optimizar el sistema de refrigeración de la batería del vehículo eléctrico urbano Renault Twizy.

Para conseguir esto se realizará la caracterización de los parámetros de funcionamiento del sistema de refrigeración de la batería del vehículo eléctrico urbano Renault Twizy, con lo que se realizará un rediseño al sistema de refrigeración de la batería, para obtener una mejor optimización y con esto ayudar a que la batería cumpla con su vida útil además de mejorar su eficiencia.

El proceso y análisis del rediseño se lo realizara mediante el software de simulación SolidWorks el cual mostrara los resultados del rediseño, por ende, serán comparados con los datos originales del sistema.

1.6 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

La fabricación de los primeros vehículos eléctricos se dio en la segunda mitad del siglo XIX, la cual se mantuvo una competencia alta con los vehículos de combustión interna. Con la ayuda de Toyota quien arriesgo con la creación del Prius 1, la población presencio un nuevo concepto de vehículo lo que incentivo también a otras marcas a la creación de vehículos que utilicen energías alternativas (Barrera and Ros 2017, pág. 4).

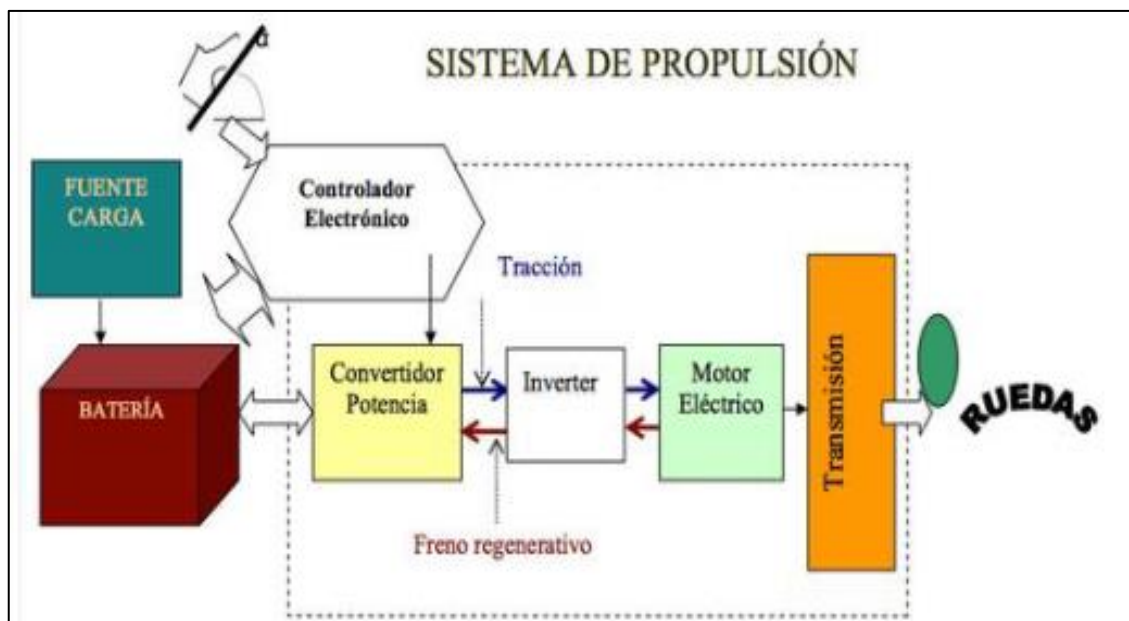


Figura 1.1 Esquema conceptual de la configuración de un vehículo eléctrico

(García, 2015,pág. 4)

Un vehículo eléctrico es inducido por uno o varios motores eléctricos mientras que su capacidad de movimiento la obtienen por la energía que liberan sus baterías (véase la Figura 1.1). La tracción de estos vehículos se las proporciona las ruedas impulsadas por motores rotativos, lineales o motores inerciales (García, 2015,pág. 4).

1.6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

En la actualidad existen una variación de vehículos eléctricos los cuales son conocidos como vehículos híbridos los cuales adoptan un motor eléctrico y un motor de combustión interna.

1.6.1.1 HEV (vehículos híbridos eléctricos)

Dependiendo de las necesidades en las que se encuentre el vehículo, este puede funcionar en modo solo eléctrico, en el modo solo combustión o en los dos modos conjuntamente. Al momento de arrancar el vehículo el motor de combustión es quien trabaja, por otro lado el motor eléctrico opera como un generador que transforma la energía del motor en electricidad y esta es almacena en la batería, cuando el vehículo se encuentra en conducción el motor de gasolina es el encargado de dar movimiento y si es necesario un aumento de aceleración o

potencia, el motor de combustión y el motor eléctrico trabajan conjuntamente (García, 2015, pág. 30).

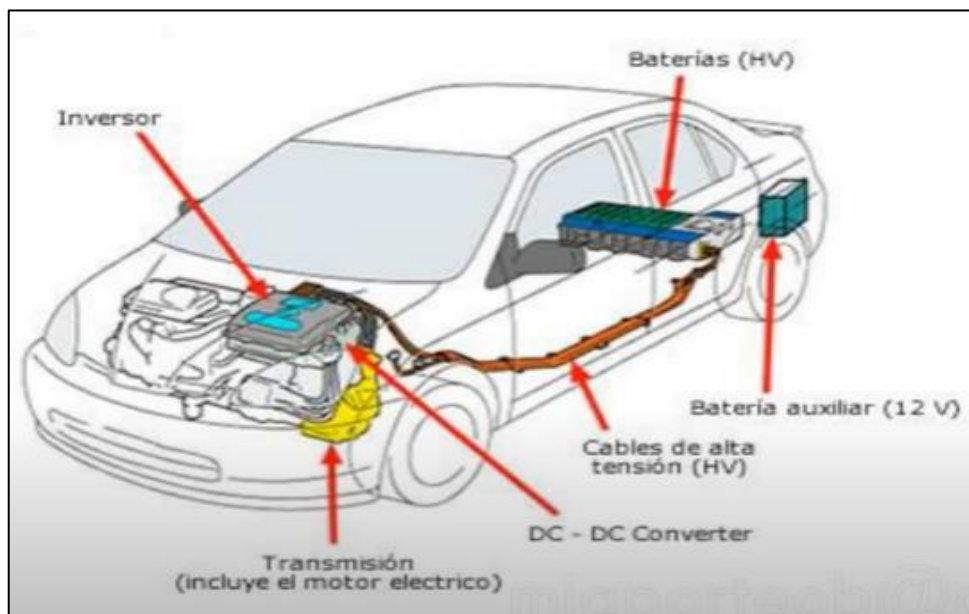


Figura 1.2 Esquema de un vehículo híbrido eléctrico

(García, 2015, pág. 31)

En estos vehículos intervienen los dos tipos de motores, un motor de combustión interna y un motor eléctrico como muestra la Figura 1.2. Esta combinación ofrece una reducción de emisiones con similar potencia, alcance y con el abastecimiento de combustible de un vehículo convencional.

Para utilizar la energía que se encuentra almacenada en la batería, el motor va conectado a un dispositivo que suministra potencia variable a las ruedas, el cual provee de mayor eficiencia operativa para que el vehículo se cargue durante el frenado. La energía eléctrica del motor es generada por medio del frenado regenerativo y por el motor de combustión, mientras que las ruedas son accionadas colectivamente por el motor eléctrico y el motor de combustión.

1.6.1.2 PHEV (Vehículos híbrido eléctrico enchufable)

Los PHEV o plug-in hybrid en inglés, o en español conocidos como vehículos híbridos eléctricos de autonomía extendida son vehículos que necesariamente deben ser enchufados a la red eléctrica para recargar la batería (Aláez Aller, 2010, pág. 2).

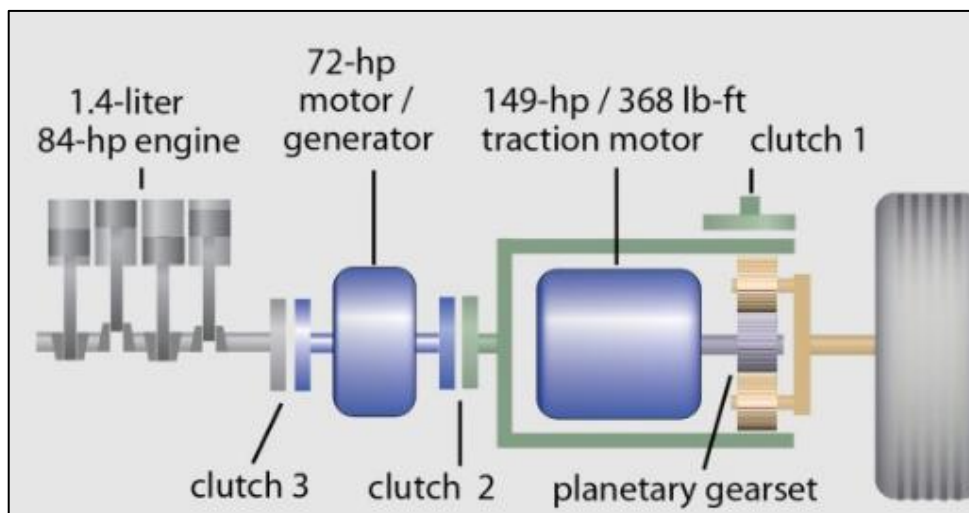


Figura 1.3 Sistema de propulsión PHEV

(CISE electrónica, pág. 2)

La energía eléctrica es producida por los sistemas de frenado regenerativo y por el motor de combustión, por medio de un generador carga la batería de forma parcial, con el fin de que esta brinde la corriente necesaria para que el motor eléctrico siga propulsando al vehículo como se muestra en la Figura 1.3.

El funcionamiento de los componentes de propulsión y de generación eléctrica para lograr que estos vehículos funcionen con rango extendido se caracteriza por su alternancia en el funcionamiento, es decir durante los primeros kilómetros utilizan solamente la electricidad almacenada en la batería y una vez que esta agota su carga eléctrica entra en funcionamiento el motor de combustión interna, pero entendiendo que este propulsa las ruedas del vehículo sino que es el encargado de entregar su movimiento a un generador eléctrico para cargar las batería y con esto mantener el funcionamiento del vehículo (Aláez Aller, 2010,pág. 2).

1.6.1.3 EV (Vehículo Eléctrico)

Estos vehículos según menciona Gregorio & Sancan, (2017) se caracterizan por producir cero emisiones durante su funcionamiento además de tener un rendimiento desde un 60% hasta un 85% ,esto dependiendo de la eficiencia de la transformación de energía eléctrica en energía mecánica. Pero en lo que respecta a emisiones de un vehículo eléctrico según otros autores hay que considerar la contaminación generada durante la producción de energía eléctrica necesaria para el vehículo es decir con la que se va a cargar la batería al ser conectada a la red eléctrica.

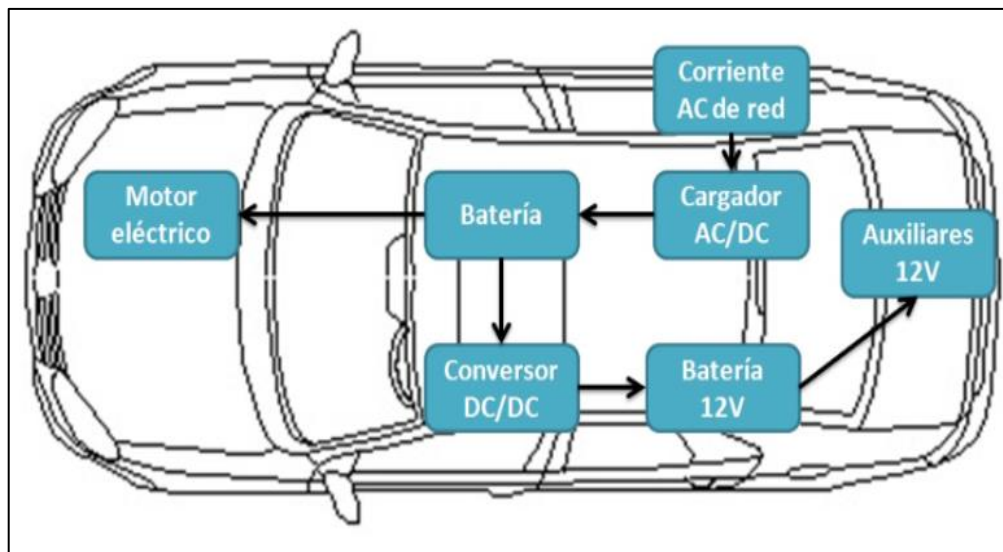


Figura 1.4 Elementos del vehículo eléctrico

(Simonelectric,2019, pág. 6)

Los EV o Electric Vehicles por sus siglas en inglés o conocidos como vehículos eléctricos puros se caracterizan por funcionar con componentes netamente eléctricos desde sus sistemas de propulsión que puede ser uno o más motores eléctricos como se muestra en la Figura 1.4, de acuerdo a las características del vehículo hasta sus sistemas de energía el cual tiene como fuente principal una batería de alta tensión la cual será recargada parcialmente por un sistema de frenado regenerativo durante su funcionamiento esto con el fin de alargar la autonomía del vehículo (Gregorio and Sancan 2017, pág. 5) .

1.7 COMPONENTES DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Se debe mencionar que no todos los vehículos eléctricos son iguales debido a su autonomía que disponen o el tiempo de carga que ocupan, pero sin embargo existen un conjunto de componentes que comparten en común los cuales se describen a continuación.

1.7.1 MOTOR ELÉCTRICO

El motor eléctrico es el encargado de la transformación de energía eléctrica en energía mecánica, mediante diferentes interacciones electromagnéticas. Los campos magnéticos opuestos se oponen entre sí, de esta forma se da el movimiento del rotor dentro del estator,

lo que provoca que se cree una fuerza necesaria para el movimiento, en este caso, de las ruedas (Murias, 2018, pág. 1).

1.7.2 BATERÍAS

Dispositivo que está compuesto por una o varias celdas electroquímicas las cuales convierten la energía química almacenada en electricidad. Cada una de las celdas están conformadas por un electrodo de carga positiva (ánodo) y un electrodo de carga negativa (cátodo) y electrolitos que acceden que los iones se muevan entre los electrodos, de esta manera facilitan que la corriente fluya fuera de la batería para dar a cabo su función (García, 2015, pág. 21). La batería es el componente principal de todo vehículo eléctrico ya que de este depende en su mayoría el precio, el peso y la autonomía.

1.7.3 CONVERTOR DC/DC

Ramos, (2017) menciona que los convertidores DC-DC se utilizan para que una fuente de tensión continua ya sea fija o variable, esta consiga un valor de tensión estable a la salida sin ninguna afectación por posibles fluctuaciones en la tensión de entrada o en la carga que está conectada en la salida, o, en resumen, es el encargado de variar el voltaje de alta tensión a uno de baja tensión para la batería de 12 V. Todo lo realizan mediante una serie de semiconductores que mediante la aplicación de señales de control estos actúan como interruptores que se cierran y se abren para convertir un número de tensión definitivo en otro diferente.

1.7.4 INVERSOR DC/AC

Es el encargado de convertir la corriente continua de las baterías en corriente alterna para hacer funcionar el motor y a su vez convierte la corriente alterna del generador en continua para que esta pueda ser almacenada en las baterías, este inversos normalmente va refrigerado con agua (García, 2015, pág. 18).

1.8 BATERÍAS

Desde los inicios de los vehículos eléctricos se ha observado una notable evolución, todo esto se debe a los grandes saltos tecnológicos que han dado en los últimos años las baterías, ya que los fabricantes buscan desarrollar baterías de menor tamaño, gran potencia, capacidad de almacenamiento de energía y que sean fáciles de reciclar cuando haya consumado su vida útil (Lovessharing, 2020, pág. 1).

Son los equipos encargados del almacenamiento de energía que es producida de forma química, para prontamente convertirla en energía eléctrica al momento que el vehículo lo necesite(García and Moreno, 2016, pág, 12)

1.8.1 TIPOS DE BATERÍAS

Las baterías son uno de los principales elementos de un vehículo eléctrico y con el pasar de los años se han ido desarrollando diferentes tipos de ellos, de tal manera que este avance es algo que está marcando el devenir de los vehículos eléctricos ya que su progreso y sus prestaciones gira en torno a ellas. Existen una variedad de tipos de materiales de los cuales están constituida una batería, como es la celda eléctrica la cual está compuesta por dos electrodos en su interior y un componente electroquímico, dicho electrolito está cargado de una gran cantidad de iones y sustancias que contienen los electrodos los cuales son semiconductores que permiten que la batería acumule energía (Meza & García, 2018, pág. 2).

1.8.1.1 Baterías de Plomo y Ácido

Este tipo de baterías tanto primarias o secundarias son muy frecuentes de encontrar en vehículos convencionales, no híbridos. Se las puede encontrar en valores de 6 V y 12 V las cuales están formadas por celdas de 2 V cada una. Están compuestas por un depósito de ácido sulfúrico y en el interior la constituye una sucesión de placas de plomo ubicadas de forma lateral. Debido a su capacidad de descarga durante un breve etapa de tiempo estas suelen ser buenas para el arranque de un motor de combustión (Martínez, 2017, pág. 13).

En la descarga de la batería la concentración de ácido sulfúrico disminuye, por lo que se crea sulfato de plomo (II) y crece la cantidad de agua liberada en la reacción. Como el ácido sulfúrico condensado tiene una mayor densidad al ácido sulfúrico disuelto es ahí donde se puede notar el estado de carga de la batería (García, 2015 , pág. 11).

Podemos mencionar que unas de las principales ventajas de este tipo de baterías son su bajo coste y su buena respuesta de trabajo en frío. Mientras que sus desventajas es su gran peso, su lenta capacidad de carga, uno de sus principales componentes que es el plomo es demasiado tóxico y necesita de mantenimiento periódico. La característica fundamental es su ciclo de vida que limita entre los 500 y 800 ciclos de carga y descarga (Race, 2019, pág 1).

1.8.1.2 Baterías de Níquel Cadmio (NiCd)

Estas baterías están compuestas en su interior por metales pesados, su ánodo es de níquel, su cátodo de cadmio y un electrolito de hidróxido de potasio lo que son productos muy tóxicos. Mediante esta disposición de materiales se permite la recarga de la batería una vez que se encuentra descargada para su reutilización, este tipo de baterías poseen un buen rango de temperatura en funcionamiento de entre -40°C a $+60^{\circ}\text{C}$. (Martínez, 2017, pág. 16).

Por otro lado, también conserva una alta capacidad de vida útil, indicada a través del número de ciclos de carga y de descarga que esta entre los 1500 ciclos. Su principal desventaja en su construcción es el cadmio ya que es un metal pesado que provoca efectos nocivos para el ambiente y los seres vivos, debido a esto la Unión Europea los ha prohibido. Este tipo de baterías padecen de efectos de memoria, que es la pérdida de capacidad provocado por las múltiples cargas parciales (Bustamante & Reibán, 2020 , pág. 53).

1.8.1.3 Baterías de Níquel-Hidruro Metálico (NiMh)

Son baterías que se caracterizan por su fiabilidad y su expectativa de larga vida útil. Para garantizar su fiabilidad son diseñadas con el fin de ser utilizadas en ciclos de carga y descarga continuos, alrededor del 10% de su capacidad, dejando el restante de su capacidad como “buffer” para certificar que la batería tendrá niveles de rendimiento mínimos al final de su vida útil (Pástor & Velasco, 2015 , pág. 73).

Los fabricantes de vehículos híbrido recurren a estas baterías con frecuencia debido a que reducen el efecto memoria con respecto a las baterías de níquel-cadmio, por motivo que estas eliminan el cadmio de su composición. Su ciclo de vida es más limitado a comparación de las anteriores baterías mencionadas, está entre los 300 a 500 ciclos de carga. Uno de los inconvenientes que se puede encontrar en estas baterías son que resisten menos a las altas temperaturas, no soporta fuertes descargas y tienen menor resistencia a altas corrientes de carga (Race, 2019, pág. 1) .

1.8.1.4 Baterías de Iones de Litio (Li-ion)

Las baterías de iones de litio se han desarrollado con el fin de tener un gran aumento de la densidad de energía y de la densidad de potencia, en comparación de las baterías de plomo y níquel estas presentan una mayor capacidad de carga y descarga, una vida útil de mayor tiempo y ningún efecto de memoria. El alto costo de fabricación inicial ha limitado su uso en aplicaciones, pero gracias al desarrollo de nuevos productos químicos se está buscando la reducción del costo de este tipo de baterías (Bustamante & Reibán, 2020 , pág 54).

La batería de litio básica trabaja haciendo transportar los iones de litio entre el cátodo y el ánodo por medio de un electrolito líquido que se encuentra entre ellos. Para acrecentar la cantidad de energía que almacenan estas baterías se ha reformado la estructura del cátodo con diferentes proporciones de níquel, manganeso y cobalto, pero manteniendo la química básica del litio (García, 2019, pág,36) .

El desarrollo de estas baterías permite cargarse sin necesidad de estar descargadas por completo, garantizando así que no se reduzca su vida útil. Pero uno de sus inconvenientes es que no permiten los cambios de temperatura, no admiten descargas totales por lo que sufren mucho cuando esto sucede. A pesar de sus grandes ventajas estas presentan otros inconvenientes como es las reservas de litio que están en gran controversia , su calentamiento y alto costo (García, 2015 , pág. 15).

1.8.1.5 Baterías de Polímero de Litio

Son una variación de las baterías de ion litio que en lugar de utilizar un electrolito líquido este usa un polímero, posee una gran densidad energética y potencia, tienden a ser más

ligeras y no poseen efecto de memoria. El ciclo de vida de estas baterías está por debajo de las 1 000 cargas y descargas. Pero al igual que las baterías de litio poseen un precio alto y su ciclo de vida es menor (Race 2019, pág. 1).

1.8.2 PROCESO QUÍMICO DE BATERÍAS

Las baterías están compuestas por una variación de celdas las cuales van colocadas una detrás de otra en serie para agrandar la capacidad y la tensión en el acumulador eléctrico. Una celda es prácticamente una caja que en su interior se encuentran ubicados dos electrodos sumergidos en un electrolito. De acuerdo con el material que están constituidos los electrodos y la sustancia con la que forma el electrolito se tiene los diferentes tipos de baterías Lara, 2013, pág, 7).

En el interior de las celdas se producen reacciones químicas alterables que son las encargadas de absorber electrones, de esta forma generan una tensión eléctrica entre los electrodos. Estas reacciones químicas son conocidas como reacciones redox o de reducción-oxidación. Cuando la superficie de contacto del electrodo con el electrolito sea mayor, las reacciones químicas se producen con mayor volumen, lo que dará como resultado conseguir aumentar la capacidad (Lara, 2013, pág, 8).

1.8.3 CARGA Y DESCARGA DE LAS BATERÍAS

Para la carga de las baterías se cuenta con varios tipos que son: la carga lenta, carga rápida y la carga ultra rápida, que se caracterizan por el tipo de alimentación, tiempo y entre otros parámetros, los cuales nos determinan la velocidad del tiempo de carga completa de la batería.

Cuando una batería se encuentra cargada y es conectada a un aparato de alimentación de energía, el circuito eléctrico del conjunto es cerrado. Lo que provoca una reacción química consiguiendo la circulación de partículas ionizadas de un electrodo a otro, esto provoca la producción de energía. Por otro lado, si se conecta un cargador a los bornes de la batería se provoca un proceso químico inverso. Las partículas circulan en la dirección contraria lo que produce que la batería se recargue (Alarcón & Tirado, 2018 , pág. 12).

1.8.4 EFECTOS DE LA TEMPERATURA

La temperatura es uno de los factores que pueden afectar tanto como al rendimiento y la vida útil de las baterías, de forma que una temperatura elevada es la causante del envejecimiento prematuro de estas. Las temperaturas de las baterías de los vehículos eléctricos deben estar trabajando en un rango no superior a los 45 °C y no por debajo de los 5 °C debido a que existen alteraciones en las reacciones químicas que se producen dentro (Sarango, 2018 , pág. 3).

El no disipar homogéneamente el calor generado en las baterías es un limitante para que estas no trabajen de una manera eficaz, y al estar en presencia una variación de temperatura superior a la de su diseño esta reducirá su ciclo de vida pudiendo presentarse la regla de acortar a la mitad de la vida útil provocada por este tipo de variaciones continuas de temperatura (Alarcón & Tirado, 2018 , pág. 13).

1.9 TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor es la ciencia que determina la velocidad en la cual se trasmite la energía en forma de calor de un sistema a otro esto a causa de un diferencial de temperatura entre dichos sistemas.

1.9.1 MODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Los modos de la transferencia de calor se diferencian en tres tipos dependiendo al estado físico en el cual se encuentren cada una de las sustancias ya sea líquido, sólido o gaseoso.

1.9.1.1 Conducción

La transferencia de calor según Camaraza (2020) es un proceso en el cual se transfiere calor desde un cuerpo a otro siempre y cuando haya un contacto directo entre estos cuerpos ya que se produce por intercambio de energía cinética por choques moleculares, también se hace mención a que se debe tener un gradiente de temperatura que sea mayor a cero en diferentes puntos del cuerpo considerando que este proceso se realiza entre dos cuerpos sólidos comunes (pág. 3).

La conducción térmica en gases se produce por un proceso de difusión molecular y atómica, a diferencia del proceso que ocurre en líquidos y sólidos dieléctricos donde el proceso se produce por medio de ondas elásticas. Cabe mencionar que para que sea aplicable la conducción en gases y líquidos debe haber sido imposible la transmisión de calor por convección (Camaraza 2020, pág. 3).

1.9.1.2 Convección

La transferencia calor por convección se produce debido a la difusión de energía debido a circunstancias como el movimiento molecular aleatorio, así como también del movimiento global de la masa del fluido. Además, esta forma método de transmisión de calor se caracteriza por el movimiento simultaneo de masa y de fluido a nivel macroscópico, por lo tanto, se debe mencionar que este método solo es aplicable entre líquidos y gases o en la presencia de uno de estos con un sólido, ya que en el caso de solido entre solido solo será aplicable la transferencia de calor por conducción térmica (Montes Pita, 2016, pág. 18).

1.9.1.3 Radiación

Otro de los métodos para producir una transmisión de calor es la radiación este es el proceso en el cual según (Montes Pita 2016, pág. 28), se produce al transportar energía emitida por un cuerpo a temperatura finita a través de ondas electromagnéticas o fotones.

La transferencia de calor por radiación se diferencia de la conducción y convección por el que estas necesariamente requieren de un medio material para transferir la energía a diferencia de la radiación que además de no necesitar un medio material esta puede ser más eficiente aplicándola en el vacío (Montes Pita 2016, pág. 29).

1.10 MECÁNICA DE FLUIDOS

La mecánica de fluidos es una rama de la ingeniería que trata del conducta de fluidos (líquidos, gases y vapores) estén estos en movimiento o en reposo, además para expresar este comportamiento se pueden utilizar magnitudes escalares, vectoriales y/o tensoriales las

cuales estarán en función de una ubicación y un tiempo determinados (De las Heras, 2012, pág, 3).

1.10.1 CAUDAL Y VELOCIDAD MEDIA DEL FLUIDO

El caudal se refiere al cociente entre el volumen de un fluido que recorre o se desplaza entre dos puntos de un sistema y el tiempo que tarda en hacer este recorrido. Por otro lado, la velocidad se refiere a que tan rápido se desplaza el fluido desde un punto a otro considerando el rozamiento que existe entre las moléculas del fluido con las paredes o superficie del conducto o cañería por donde este se desplace (De las Heras, 2012, pág, 8).

1.10.2 NÚMERO DE REYNOLDS

Es la expresión numérica que nos indica las características de desplazamiento de un fluido ya sea laminar o turbulento dependiendo el valor del número de Reynolds que este tenga.

1.10.3 FLUJO LAMINAR

El flujo laminar se caracteriza por el movimiento ordenado y en forma de láminas paralelas del fluido las cuales circulan de forma suave y sin entrecruzar sus trayectorias y en el aspecto cuantitativo según (Novillo, Córdor y Tacle 2015) este flujo se caracteriza por tener un número de Reynolds menor a 1500.

1.10.5 FLUJO TURBULENTO

Se considera flujo turbulento al fluido que circula de una forma caótica, es decir las partículas se mueven sin obedecer ningún orden por lo tanto el conjunto de las trayectorias de estas partículas se asemeja a remolinos aperiódicos. además en el aspecto cuantitativo según (Insertadas, Oriente, and Whitaker 2016) los flujos turbulentos presentas un valor de Reynolds superior a 1500.

1.10.6 RUGOSIDAD RELATIVA

Se conoce como rugosidad relativa al cociente entre la rugosidad absoluta con respecto al diámetro de la tubería por el cual pasara un fluido, esta rugosidad según (Torres, 2018, pág, 7) se la conoce como la cantidad de rugosidad interna de un tubo, conducto o cañería.

1.11 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE BATERÍA

El sistema de refrigeración de la batería es de gran importancia ya que controla los valores de temperatura de estas, influye en el rendimiento, seguridad y durabilidad. Cualquier cambio de temperatura fuera de sus estándares de trabajo puede provocar una disminución de sus prestaciones.

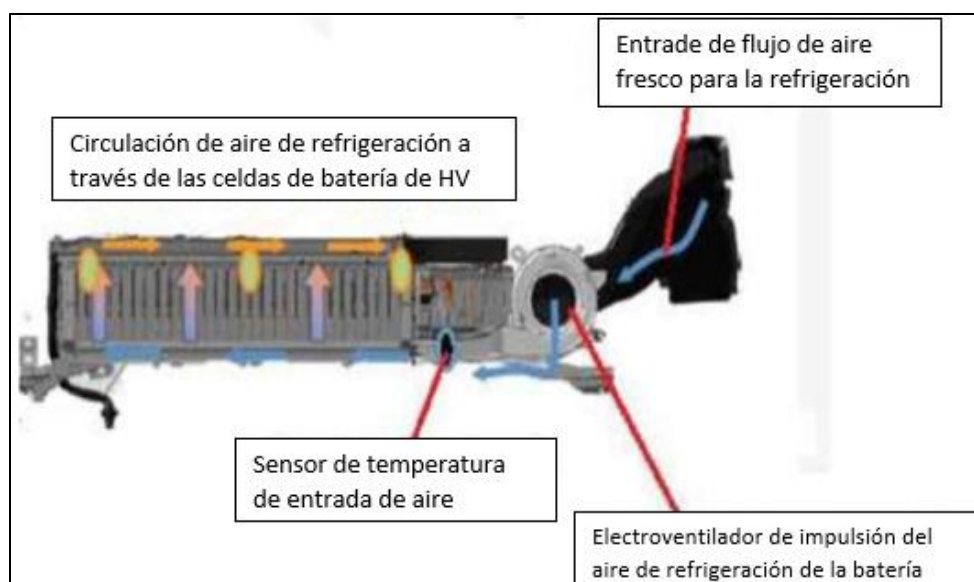


Figura 1.5 Sistema de refrigeración de baterías

(Alarcón & Tirado, 2018 , pág. 21)

La Figura 1.5 muestra un sistema de refrigeración de batería y los componentes que intervienen. El sistema de refrigeración está formado por un conjunto de elementos y fluidos, cuyo fin es regular la temperatura de partes críticas, tales como motores eléctricos, baterías HV y otros elementos electrónicos que necesitan de esta refrigeración, ya que estas producen calor como consecuencia de las pérdidas eléctricas y mecánicas (Alarcón & Tirado, 2018 , pág. 21).

1.11.1 TIPOS DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

El tipo de sistema de refrigeración de batería depende mucho del tamaño y diseño de la batería, ya que si se cuenta con baterías de pequeñas dimensiones estas pueden tranquilamente ser refrigeradas por acción del aire, mientras en baterías de mayor dimensiones este método no es tan efectivo por lo que se emplean un tipo de refrigeración por líquido (Sarango, 2018 , pág. 3).

1.11.1.1 Refrigeración por aire

La refrigeración por aire permite la refrigeración mediante el recorrido de un flujo de aire sobre las baterías, este flujo de aire puede provenir del exterior o en sistemas más complejos utilizan el flujo adicional del aire acondicionado del habitáculo.

1.11.1.2 Sistema de refrigeración por aire de la cabina

Un ventilador se encarga de extraer el aire de la cabina del vehículo, el cual fluye sobre la superficie y / o a través de los circuitos de refrigeración de la batería y posteriormente sale hacia el exterior del vehículo. Este sistema de refrigeración se la puede encontrar en el Toyota Prius (Alarcón & Tirado, 2018 , pág. 25).

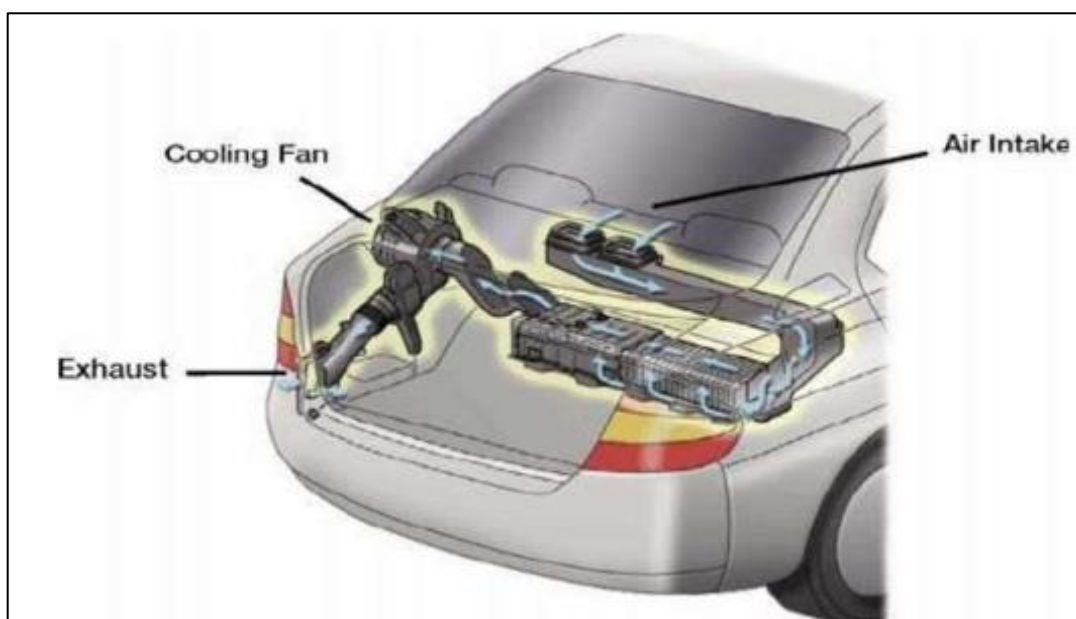


Figura 1.6 Sistema de refrigeración por aire de la cabina

(Alarcón & Tirado, 2018 , pág. 26)

En este método se emplea el aire pre acondicionado del sistema de refrigeración dentro de la cabina del vehículo para enfriar a la batería como se muestra en la Figura 1.6.

1.11.1.3 Sistema de refrigeración por aire independiente

El sistema de refrigeración independiente se la realiza mediante la utilización del aire que se encuentra en la cabina, este es tomado y transferido al interior del pack de batería el cual seguidamente actúa en la refrigeración.

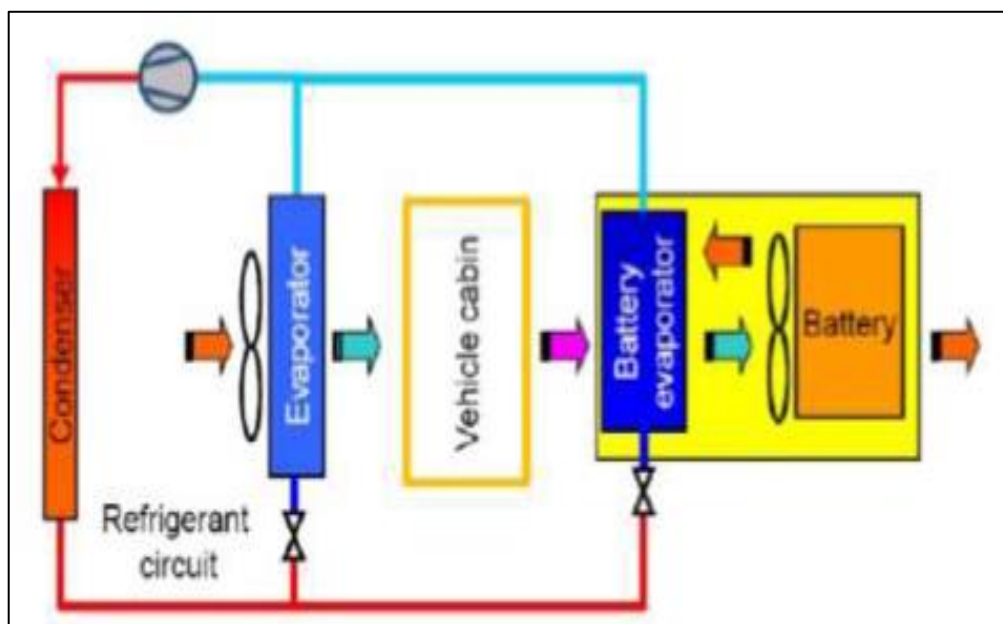


Figura 1.7 Sistema de refrigeración por aire independiente

(Alarcón & Tirado, 2018 , pág. 26)

Para este sistema se emplea la unión del aire pre-acondicionado de la cabina más un evaporador que va enfocado a la batería como se puede observar en la Figura 1.7.

1.11.1.4 Sistema de refrigeración directa

El sistema de refrigeración directa funciona por medio de la conexión en paralelo de una lámina de evaporador con el presente evaporador del sistema de aire acondicionado del vehículo. Esta placa del evaporador se encuentra en contacto directo en las celdas de la batería y el calor que producen las celdas de la batería (Alarcón & Tirado, 2018 , pág. 27).

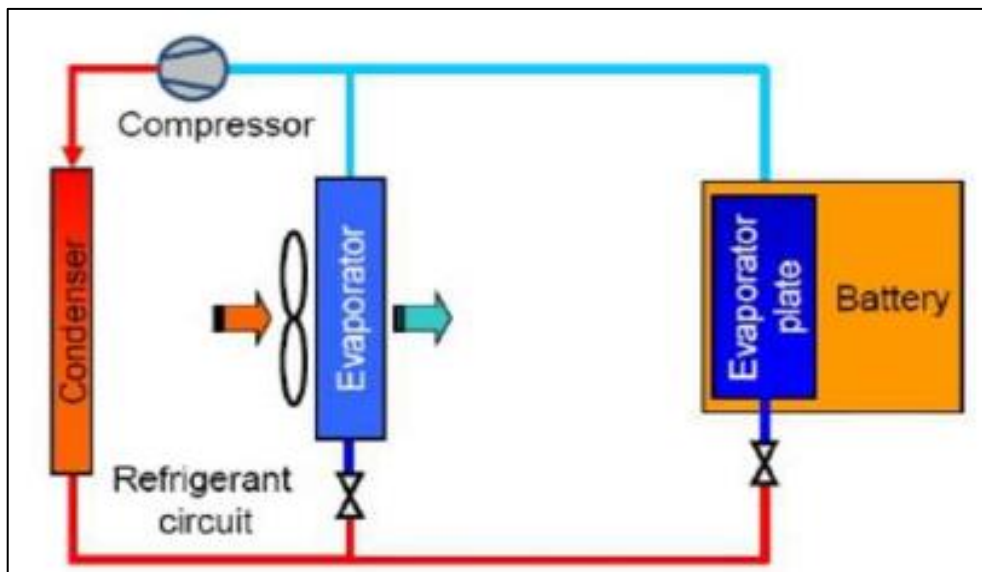


Figura 1.8 Sistema de refrigeración directa

(Alarcón & Tirado, 2018 , pág. 26)

En resumen, una placa del evaporador del sistema de aire acondicionado del vehículo va conectado hacia la batería directamente como se muestra en la Figura 1.8.

1.11.1.5 Refrigeración por líquido

La refrigeración por líquido contiene un refrigerante el cual se encuentra ubicado dentro de conductos de refrigeración o directamente en contacto con las celdas de la batería, la ventaja de este sistema es que provee una mayor refrigeración hacia la batería en comparación a la refrigeración por aire.

1.11.1.6 Refrigeración directa fluido dieléctrico

Esta innovación tecnológica reduce los inconvenientes de la batería tales como es la vida útil, la velocidad de carga y el coste. El sistema se utiliza un líquido dieléctrico el cual no es un conductor eléctrico, pero es altamente un conductor térmico (García G. , 2019, pág. 1).



Figura 1.9 Sistema de refrigeración de baterías mediante inmersión de fluido dieléctrico
(García, 2019, pág 1)

La Figura 1.9 describe al sistema que consiste en el interior se encuentra un líquido dieléctrico el cual está inmerso directamente en contacto con las celdas de la batería, para que esta pueda refrigerar de manera más eficiente y rápida (García G. , 2019, pág. 1).

1.11.1.7 Refrigeración indirecta a base de agua y glicol

Este tipo de refrigeración consta de cavidades o ductos en el cual el líquido refrigerante circula para que no exista contacto directamente con las celdas de la batería, esto con el fin de evitar que se produzca cortos circuitos dentro del pack de batería.

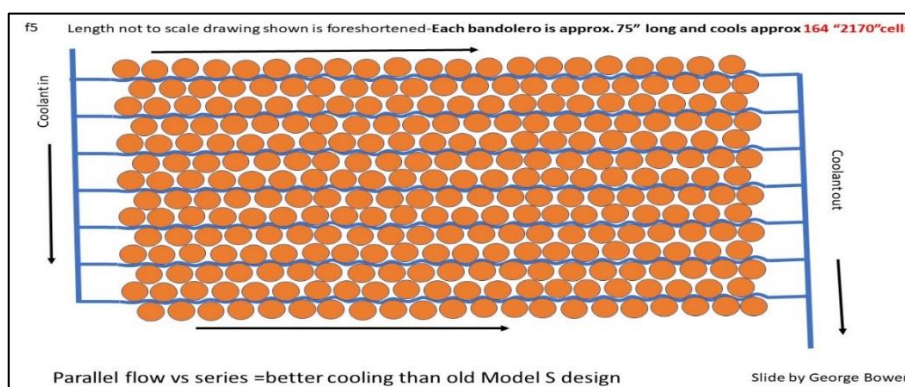


Figura 1.10 Sistema de refrigeración indirecta por líquido Tesla Modelo 3
(Bower, 2018, pág. 2)

En la figura 1.10 se muestra que la marca de vehículos Tesla ha implementado un sistema de refrigeración de baterías que consiste en un serpentín de tubos de refrigeración ubicados paralelamente por el cual se transporta agua y glicol, estas van pegadas directamente a través de las celdas de la batería, logrando mejorar el enfriamiento de la batería (Bower, 2018, pág. 2).

1.11.1.8 Refrigeración termoeléctrica (TEC)

Es un sistema que controla la temperatura por medio del ajuste del suministro de voltaje. Se basa en los principios físicos de Peltier-Seebeck y Thompson, el cual trata de la transformación del voltaje en un gradiente de temperatura. Los diseños que han implementado este sistema han conseguido mantener la temperatura de la batería por debajo de los 55°C.

En resultados experimentales la temperatura de la superficie de la batería ha decaído alrededor de 43°C, este resultado se dio utilizando un sistema de enfriamiento de agua basado en TEC empleada en una única celda con soporte de cobre cuando se suministra 40 V al calentador y 12 V al módulo TEC (García, 2019, pág. 15).

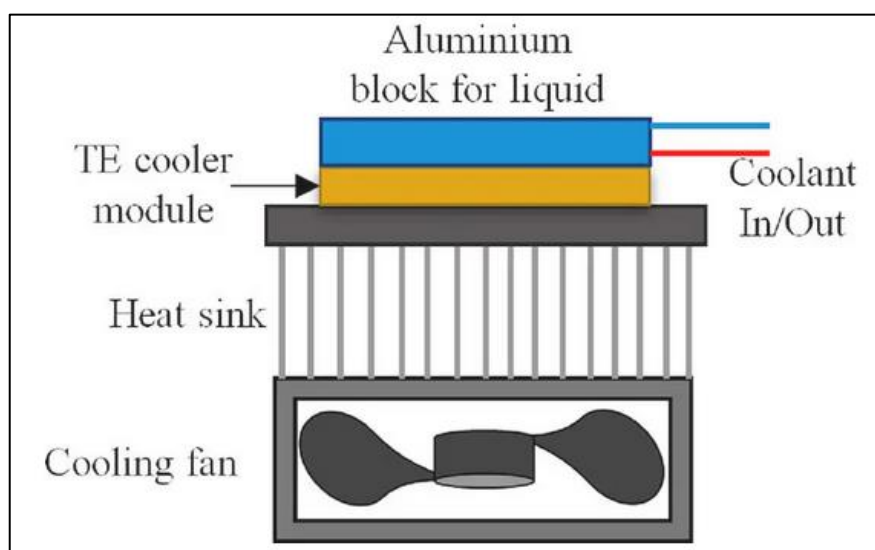


Figura 1.11 Sistema combinado que usa la refrigeración termoeléctrica y un sistema de enfriamiento por líquido

(García, 2019, pág 23)

En la Figura 1.11 se muestra un sistema combinado en el cual se utiliza un sistema de enfriamiento por líquido y la refrigeración termoeléctrica ha funcionado como medio para disminuir el calor de las baterías.

1.12 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Los elementos del sistema de refrigeración corresponden a una serie de dispositivos los cuales trabajan en conjunto para generar la refrigeración. Estos componentes deben estar correctamente funcionando con el fin de que el sistema opere adecuadamente.

1.12.1 VENTILADORES AUTOMOTRICES

Los ventiladores son los encargados de mantener la temperatura ideal en la batería, estos se activan mientras el vehículo se encuentra en marcha. Existen ventiladores de ingreso para la refrigeración en áreas concretas, avalando que el flujo de aire sea homogéneo. También son los encargados de permitir que pase el aire frío hacia la caja de la batería por medio de conductos a la cual están unidos (Alarcón & Tirado, 2018 , pág. 22).

1.12.2 SISTEMA DE GESTIÓN DE BATERÍA (BMS)

El sistema de gestión de baterías o BMS por sus siglas en inglés es un sistema electrónico que se encarga de controlar la descarga de energía, proteger la batería para que no trabaje fuera de su área segura, tanto en términos de voltaje e intensidad, también controla su estado de carga o su estado de bienestar en términos de temperatura o daños. De acuerdo con el uso que se le dará a la batería, el sistema de gestión también está encargado de vigilar parámetros específicos como es la parada regenerativa en los vehículos eléctricos (Martínez, 2017 , pág. 24).

1.12.3 SENSORES DE TEMPERATURA

Los sensores de temperatura tienen la función de convertir la temperatura del aire que gira alrededor de la batería en señales eléctricas. Las señales de voltaje que estas envían son

utilizadas para establecer el voltaje que necesita recibir la batería mientras está cargada, esto se realiza en función de las temperaturas establecidas (Pardo, 2021, pág. 8).

Existe una gran variedad de tipos de sensores de temperatura entre los cuales se puede mencionar los siguientes:

- Sensores de temperatura digital
- Sensores de temperatura analógico

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente capítulo expone la metodología de investigación empleado para el desarrollo del rediseño y simulación, con el fin de efectuar los objetivos previamente propuestos. Mediante una investigación documental se consiguió información necesaria y de importancia que contribuya con temas que van relacionados al proyecto.

Se realizó pruebas experimentales para conocer parámetros de funcionamiento en los cuales se fundamentó la realización del proyecto. Seguidamente con la información recabada se procede a realizar la caracterización de los sistemas referentes a la refrigeración de baterías, con el fin de seleccionar el sistema más óptimo en la realización de proyecto.

Una vez seleccionado el sistema de refrigeración más conveniente se procede a realizar el diseño de piezas para su respectivo análisis y funcionamiento por medio de simulación.

2.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En la realización de un diseño o un rediseño es importante seleccionar y utilizar una adecuada metodología, de esta forma se obtendrá resultados más factibles que ayuden a la disminución de tiempo, esfuerzo y costos de fabricación. Por tal motivo en el presente trabajo se procedió a utilizar las metodologías a continuación descritas.

2.1.1 MÉTODO EXPERIMENTAL

El proyecto optara por una metodología experimental, por el motivo que se manipula diferentes variables, el cual se controlaran aumentando o disminuyendo las variables de estudio, con el fin de observar el resultado que estas mismas produzcan. Dicho de otra forma, se cambió valores de las variables independiente que se han investigado posteriormente como son los tipos de sistemas de refrigeración de batería para vehículos eléctricos, optando por seleccionar el sistema que mejor se adapte a las condiciones del vehículo y ofrezca resultados positivos a lo que sería nuestra variable dependiente que en el caso de este

proyecto es la elevada temperatura que producen las baterías de tracción de los vehículos eléctricos.

Esto se llevó a cabo por medio de condiciones rigurosamente controladas con ayuda de programas que permiten la simulación y en base a esto se obtuvo resultados que describen de qué forma o por cual motivo se produce una situación o acontecimiento en específico.

2.1.2 MÉTODO DOCUMENTAL

Por medio del método documental adoptamos informaciones referentes a sistemas de refrigeración de baterías que han sido utilizadas en vehículos y prototipos, con el fin de conocer los resultados obtenidos y poder tener referencia de los diseños anteriores.

2.1.3 MÉTODO ANALÍTICO

En este caso es necesario que conste más de un grupo o pruebas para instaurar comparaciones de resultados entre los mismos, por motivo que un rediseño no se puede iniciar solamente con un único grupo y solo una condición.

Se compara los tipos de refrigeración de batería, ya que esta puede ser por medio de aire, líquido o un sistema combinado de aire y líquido. Esto con el fin de obtener resultados de mejora que se ajusten al proyecto.

2.1.4 MÉTODO CUANTITATIVO

Con la ayuda del método cuantitativo se logró asignar valores numéricos a cada variable dependiente, el cual arroje resultados que facilitaron la elección del sistema empleado para el rediseño.

Como se ha mencionado un experimento consiste principalmente en manipular variables independientes y obtener resultados numéricos en un variable dependiente. Siendo esta una de las características primordiales de la investigación experimental. La variable dependiente de este proyecto es el aumento de temperatura en las baterías de los vehículos eléctricos que produce al momento de la utilización del mismo.

2.1.5 MÉTODO EXPLICATIVO

El método explicativo es el medio por donde se indagó razones para aclarar ciertos fenómenos, por tal motivo se utilizó este método en el presente proyecto ya que busca una mejora al diseño original, tratando de optimizar el sistema y aumentando sus beneficios a lo que se refiere a la refrigeración de baterías de vehículos eléctricos.

2.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Lo que tiene que ver con la realización del proyecto y la ejecución de las distintas pruebas de optimización: es necesario tener conocimiento del programa SolidWorks y proveer del vehículo eléctrico urbano, en el cual se tomó su sistema de refrigeración de batería para proceder con la caracterización y rediseño de este. Por tal motivo para el desarrollo de simulación y optimización del sistema fueron necesarios los siguientes materiales y software:

2.2.1 MATERIALES

El material principal por emplear en el presente proyecto es el vehículo eléctrico, ya que por medio de este se basó el estudio de rediseño y optimización a lo que se refiere el sistema de refrigeración de baterías de tracción.

2.2.1.1 Renault Twizy

Lo que tiene que ver con la selección del vehículo se procedió a la utilización de uno de los vehículos eléctricos que dispone la Universidad que en este caso es el Renault Twizy, siendo este un vehículo eléctrico urbano en cual se ajusta a las necesidades para la realización del presente proyecto.

El vehículo Renault Twizy es un vehículo eléctrico monoplaza que está diseñado para la circulación en la ciudad y el cual ayuda a cuidar al medio ambiente. Este opta por una batería de litio recargable, lo que lo convierte en un vehículo 100% eléctrico.



Figura 2.1 Renault Twizy

Como se puede observar en la Figura 2.1 el vehículo Renault Twizy en la versión de medias puertas, es un vehículo de pequeñas dimensiones diseñado para una sola persona y un pequeño espacio de carga en la parte posterior del asiento del vehículo. El vehículo fue utilizado para la realización del proyecto, ya que este cumple con las condiciones para realizar el rediseño de su sistema de refrigeración de batería de tracción.

La Tabla 2.1 muestra las características principales del vehículo empleado, las cuales fueron tomadas en cuenta para la realización de la prueba de ruta y análisis en el diagnóstico de temperatura de la batería.

Tabla 2.1 Características del Renault Twizy

CARACTERÍSTICAS	
Largo	2.33 m
Alto	1.45 m
Autonomía	100 km por carga
Peso	500 kg
Batería	Litio

Fuente: (Renault, 2012)

2.2.2 SOFTWARE

Los softwares son herramientas computacionales las cuales nos facilitaron la realización de pruebas mediante simulación, y por medio de este se conoce resultados previos al desarrollo y fabricación del producto o diseño.

2.2.2.1 SolidWorks

El programa SolidWorks es un software de diseño CAD 3D en el cual se puede modelar piezas o ensamblajes en 3 dimensiones, así como obtener planos en 2 dimensiones. Este software ofrece además del diseño una versatilidad de simulaciones y gestionar datos de diferentes pruebas que son realizadas en el proceso de diseño (Solidworks, 2022).

Para la ejecución del presente proyecto se procede a tomar una de las herramientas del programa que ayuda a la simulación de la dinámica de fluidos, este software llamado SolidWorks Flow Simulation, el cual nos permitió simular de una forma rápida y fácil flujos de líquido o gas a través de los diseños, con el fin de poder calcular el rendimiento y las capacidades de cada elemento diseñado.

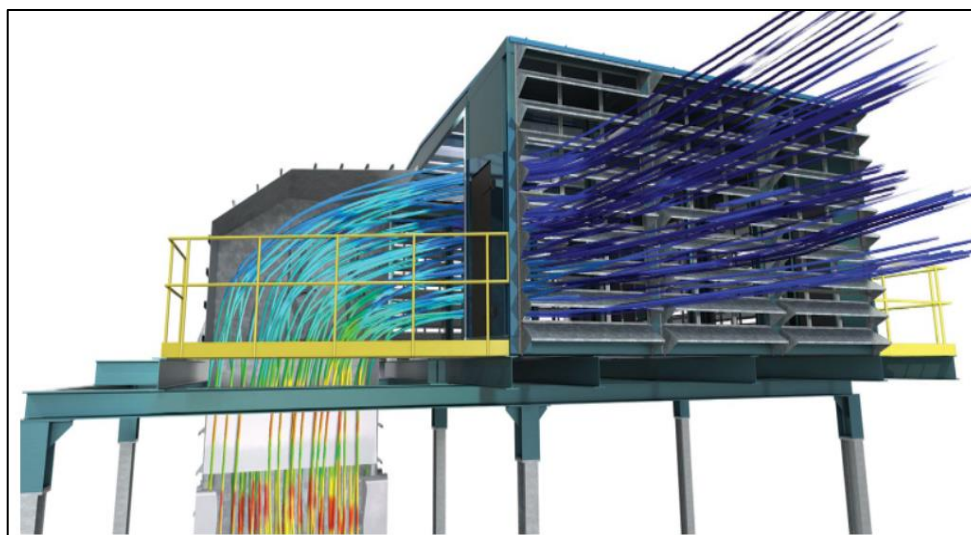


Figura 2.2 Simulación de flujo de aire en Solidworks Flow Simulation

(Solidworks 2022)

La Figura 2.2 muestra un ejemplo de la simulación de un separador inercial el cual fue realizado en SolidWorks Flow Simulation, desarrollando un análisis térmico y del flujo de fluidos.

2.2.3 EQUIPO

Para la realización del presente trabajo se procedió a utilizar un equipo tecnológico como es el scanner con el fin de obtener datos reales mientras se realizaron cada una de las pruebas propuestas.

2.2.3.1 Scanner MaxiCheck MX808

Es un scanner semiprofesional el cual cuenta con funciones de diagnóstico completo y lecturas de resultados en tiempo real, en su base de datos cuenta con una cobertura amplia en marcas, el cual permitio realizar el diagnostico del vehículo empleado.



Figura 2.3 Scanner

La Figura 2.3 muestra el scanner empleado el cual cuenta con funciones que permiten realizar una inspección en tiempo real del funcionamiento de la batería de alto voltaje del vehículo Renault Twizy.

2.3 PROCESOS METODOLÓGICOS

Para iniciar un proceso metodológico se procedió a plantar un flujograma en el cual se detalla los pasos a seguir para la realización del presente proyecto.

El flujograma comienza con una recopilación de datos bibliográficos, en el cual se obtiene información útil para la realización del marco teórico. Considerando los temas de mayor importancia que intervienen en el proceso de desarrollo de la presente investigación, seguidamente se prosigue con la selección del vehículo a emplear que en este caso será un vehículo eléctrico urbano.

Posteriormente se realizó la caracterización del sistema de refrigeración de batería que emplea el vehículo seleccionado, para conocer los elementos que intervienen directa e indirectamente, los cuales serán de utilidad al momento de realizar la simulación y rediseño del sistema. Mediante la realización de pruebas de rutas se obtendrá datos cuantitativos los cuales permiten conocer las especificaciones de desempeño y, por ende, se puede saber dónde son los puntos más críticos que la batería sufre calentamiento.

Una vez determinado y caracterizado el sistema de refrigeración se procede a realizar una conceptualización y comparación de los métodos de refrigeración de batería que existen, con el propósito de identificar cual de estos es el más conveniente implementar según los elementos que intervengan, toda esta comparación se dará con la finalidad de realizar un rediseño del sistema el cual ayude a su optimización.

Para finalizar se compara los resultados de cada sistema de refrigeración donde se verifica cual es el más factible a utilizar, una vez comparados se selecciona el método de refrigeración de acuerdo con lo requerido, seguidamente se procede a realizar la simulación del sistema seleccionado, en donde se modifica el sistema original de refrigeración de batería. Los resultados que arrojan las pruebas de simulación serán comparados y evaluados según la modificación de variables empleadas para finalmente obtener un análisis del resultado y elegir el que de mejor factibilidad.

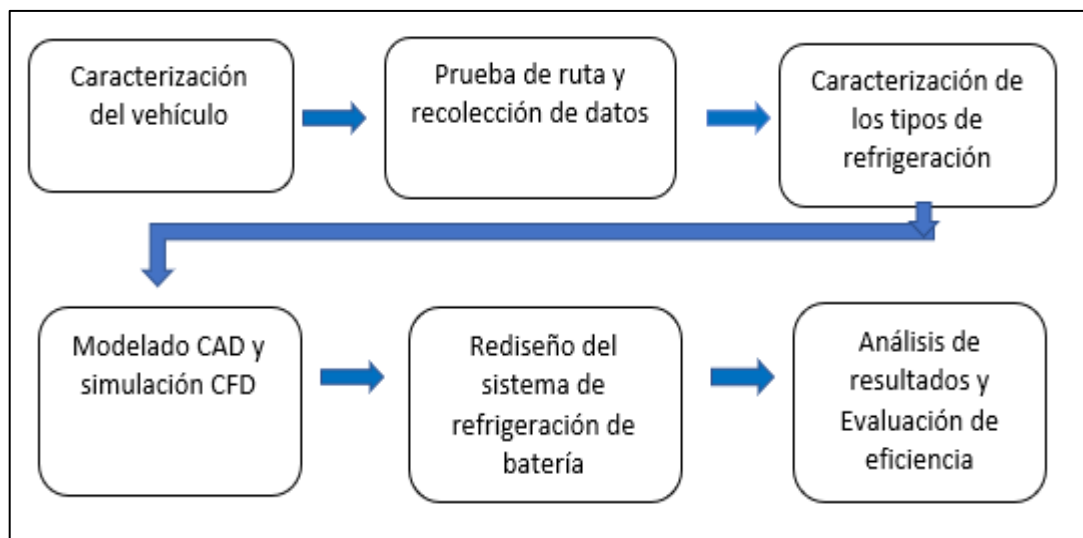


Figura 2.4 Flujograma de proceso metodológico

En la Figura 2.4 se observa el flujograma, sobre el desarrollo del presente trabajo de investigación, donde se da a conocer los pasos llevados a cabo para el progreso de optimización del sistema de refrigeración de batería de tracción de un vehículo eléctrico, a través de la adquisición de datos y de pruebas de simulación.

2.3.1 CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Se comenzó a investigar el tipo de refrigeración de batería que esta emplea, y se conoció que es un vehículo que utiliza una refrigeración de batería por medio de aire que es producido al momento en que el vehículo entra en circulación. Por lo que prácticamente no cuenta con un sistema de refrigeración de batería que trabaje principalmente para esta función.

El vehículo Renault Twizy realiza la refrigeración de batería por medio de una refrigeración pasiva, esto quiere decir que utiliza el aire del exterior el cual circula por las paredes externas de la batería, al no contar con un sistema que trabaje específicamente en la refrigeración interna de batería que es donde se produce el aumento de temperatura, se procede a realizar la caracterización de este, con la finalidad de rediseñar y conocer los elementos que intervienen en la circulación de aire para refrigerar a la batería.

La batería de tracción se encuentra ubicada en la parte inferior del vehículo exactamente debajo del asiento del conductor, por lo que se pudo notar que la entrada de aire que refrigera a la batería de tracción ingresa solamente por la parte baja del vehículo.



Figura 2.6 Vista inferior del Renault Twizy

(Renault, 2012, pág.8)

En la parte baja del vehículo como se puede observar en la Figura 2.6 podemos notar que la batería (2) se encuentra descubierta y es aquí por donde ingresa el aire de refrigeración, pero al estar en mayor proporción cubierta se dificulta la circulación de aire.



Figura 2.7 Batería de tracción

(Renault, 2012, pág.7)

En la Figura 2.7 se observa la batería de alto voltaje desmontada del vehículo y sin el recubrimiento de la parte superior, en el cual se observa los 7 módulos que la componen.

Finalmente, analizado cómo funciona la refrigeración de batería en el vehículo por consiguiente se ejecuta la caracterización de este para su rediseño e implementación de mejoras a lo que tiene que ver con la refrigeración de batería.

La Tabla 2.2 muestra las características de la batería de tracción que emplea el Renault Twizy, las cuales son de mayor importancia para detallar medidas de rediseño y pruebas de ruta.

Tabla 2.2 Batería de tracción

CARACTERÍSTICAS DE LA BATERÍA DE TRACCIÓN	
Tensión	46-58V
Intensidad de corriente	Max. 360 A
Capacidad	6.1 kWh
Masa	98 kg
Tipo de batería	Ion- litio
Dimensiones	828 x 478 x 233 mm

Fuente:(Renault, 2012)

2.3.2 PRUEBA DE RUTA

Se sometió al vehículo a una trayectoria de ruta urbana en la ciudad de Ibarra que se encuentra a una altitud de 2190 msnm, para evaluar los factores críticos en los cuales la batería del vehículo sufre mayores cambios de temperatura. De esta forma se pudo obtener un diagnóstico completo y en tiempo real.

La prueba de ruta se ejecutó con diferentes factores de exigencia sobre la batería de tracción, como es la velocidad, diferentes escenarios de superficie, esto con el fin de conocer hasta cuanto puede subir el nivel de la temperatura dentro de la batería.



Figura 2.8 Trayectoria realizada en la prueba de ruta
(Google maps, 2023)

La Figura 2.8 muestra la trayectoria realizada en la prueba de ruta, la cual inicia desde la Universidad Técnica del Norte hasta la entrada a la laguna de Yahuarcocha, una vez dentro se procedió a seguir con la trayectoria por las vías que rodea a la laguna.

La trayectoria descrita anteriormente fue ejecutada varias veces y a diferentes estándares de velocidad ya que esta cuenta con zonas planas y zonas con pendiente en su topografía con el fin de que exista la alteración de temperatura dentro del pack de baterías.

Así tenemos los siguientes detalles:

2.3.2.1 Prueba a velocidad media 30 km/h – 60 km/h:

En la trayectoria mencionada el vehículo fue transitado por una carretera de superficie plana y con una exigencia moderada hacia la batería, esto quiere decir que las velocidades alcanzadas con el vehículo no superaron los 60 km/h.

Con la ayuda del scanner se pudieron conseguir los datos en tiempo real de las condiciones de temperatura en las que se encontraba la batería y cada módulo de la batería, las cuales fueron realizadas con las siguientes características:

- Características de la prueba: ruta plana
- Distancia recorrida: mayor o igual a 20 km
- Condiciones de carga: un tripulante 67 kg.
- Velocidad del vehículo: 60 km/h

2.3.2.2 Prueba a velocidad alta 60 km/h – 80 km/h:

Para la ejecución de la prueba a velocidad alta se procedió a transitar al vehículo por carreteras que presenten zonas planas y pendientes, esto con la finalidad de exigir más a la carga del vehículo, esta prueba se trató de mantener en la velocidad máxima que el vehículo alcanza y emplear las siguientes características:

- Características de la prueba: ruta pendiente - plana
- Distancia recorrida: mayor o igual a 70 km
- Condiciones de carga: un tripulante 67 kg.
- Velocidad del vehículo: 80 km/h

2.3.2.4 ESPECIFICACIONES DE DESEMPEÑO

Se puso en contexto los valores obtenidos de las pruebas de ruta para especificar cuáles han sido los parámetros en los cuales la batería ha tenido un diferencial de temperatura importante.

Los resultados se lograron obtener mediante el uso del scanner con el que se procedió a realizar una obtención de datos en tiempo real y se pudo observar los valores de temperatura en que se encontraban cada uno de los módulos.

2.3.2.5 Valores obtenidos a velocidad media

En la prueba de velocidad media con las condiciones especificadas anteriormente y mediante la utilización del scanner se obtuvieron resultados de la temperatura de los módulos de la batería.

Nombre	Valor	Rango	Unidad
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 1	31	-40...80	°C
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 2	30	-40...80	°C
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 3	29	-40...80	°C
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 4	30	-40...80	°C
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 5	30	-40...80	°C
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 6	30	-40...80	°C
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 7	30	-40...80	°C

Figura 2.9 Resultados del scanner a velocidad media

En la Figura 2.9 muestra los valores de temperatura de hasta 31 °C de cada uno de los 7 módulos dentro del pack de batería, se puede observar que los módulos tienden a aumentar su temperatura de manera similar.

Otros resultados que se pudieron observar al momento de realizar la prueba de ruta fueron los siguientes:

- Porcentaje de energía utilizado: carga inicial menos carga final.
- Diferencial de temperatura generado: temperatura final menos temperatura inicial.
- Tiempo utilizado: tiempo medido desde punto inicial hasta el punto final de la ruta.

La Tabla 2.3 muestra el diferencial de carga de batería, temperatura dentro del pack y el tiempo empleado al realizar la prueba de ruta a velocidad media.

Tabla 2.3 Diferencia de resultados en la prueba a velocidad media

	INICIO DE LA PRUEBA	FINAL DE LA PRUEBA	RESULTADO
Porcentaje de carga de la batería (%)	80	40	40
Temperatura (°C)	25	31	6
Distancia (km)	0	21	21
Tiempo (min)	0	20	20

Fuente: (Autores)

2.3.2.6 Valores obtenidos a velocidad alta:

Para la realización de la prueba de ruta 2 el vehículo fue sometido a mayores exigencias de carga y velocidad de tal forma los resultados obtenidos de las temperaturas aumentaron excediendo los valores óptimos de temperatura.

Nombre	Valor	Rango	Unidad
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 1	55	-40...80	°C
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 2	54	-40...80	°C
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 3	53	-40...80	°C
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 4	54	-40...80	°C
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 5	53	-40...80	°C
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 6	53	-40...80	°C
<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURA DEL MÓDULO NÚMERO 7	53	-40...80	°C

Figura 2.10 Resultados del scanner a velocidad alta

La Figura 2.10 muestra la temperatura de cada módulo, en ella se puede observar que la temperatura se encuentra elevada hasta 55 °C a comparación con las temperaturas obtenidas a velocidad media, esto se debe a que el vehículo estuvo a mayor exigencia de trabajo al momento de realizar la prueba.

- Porcentaje de energía utilizado: carga inicial menos carga final.
- Diferencial de temperatura generado: temperatura final menos temperatura inicial.
- Tiempo utilizado: tiempo medido desde punto inicial hasta el punto final de la ruta.

La Tabla 2.4 muestra el diferencial de carga de batería, temperatura dentro del pack y el tiempo empleado al realizar la prueba de ruta a velocidad alta.

Tabla 2.4 Diferencia de resultados en la prueba a velocidad alta

	INICIO DE LA PRUEBA	FINAL DE LA PRUEBA	RESULTADO
Porcentaje de carga de la batería (%)	100	9	81
Temperatura (°C)	25	55	30
Distancia recorrida (km)	0	75	75
Tiempo (min)	0	57	57

Fuente: (Autores)

2.3.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS TIPOS DE REFRIGERACIÓN

En la fase de caracterización de tipos de refrigeración se realizó una recopilación de datos bibliográficos, con el propósito de conocer los elementos que influyen en cada uno de ellos, ya que es de mayor importancia conocer los temas relacionados al proyecto, lo cual son tomados como relevantes para elaborar el trabajo de grado. La recopilación tomada se ejecutó mediante la utilización de herramientas de búsqueda por medio de internet, considerando artículos científicos, investigaciones, trabajos de grado y páginas web de diferentes autores, con el fin de fundamentar los temas que fueron escogidos referentes a la refrigeración de baterías.

En la caracterización de los tipos de refrigeración se realizó una comparación de ventajas y desventajas entre los sistemas que existen para la refrigeración, mediante la obtención de datos bibliográficos se obtuvieron la cantidad de elementos empleados en cada sistema.

2.3.3.1 Caracterización del sistema de refrigeración por aire

Dentro de la conceptualización del sistema de refrigeración por aire se considera los elementos necesarios para el funcionamiento del sistema aplicados a los requerimientos, necesidades y dimensiones del vehículo. Así como también se consideró los costos tanto económicos como energéticos que estos traerán consigo.

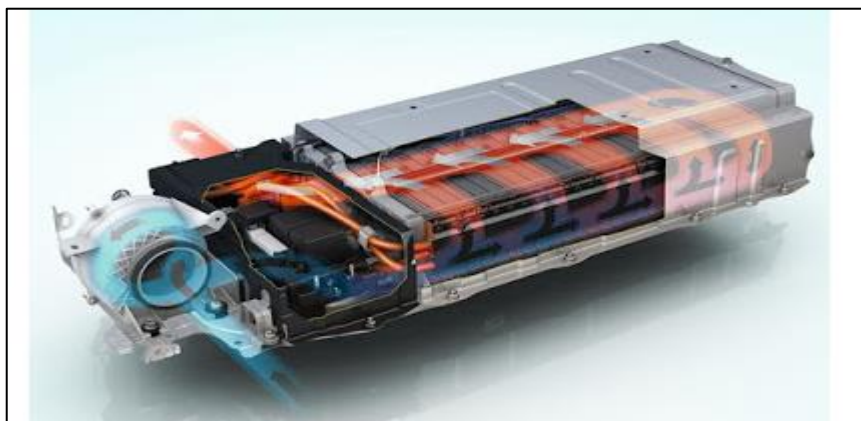


Figura 2.11 Sistema refrigeración por aire forzado

(Lara, 2014)

En la Figura 2.11 se puede visualizar los componentes básicos y necesarios para el funcionamiento de un sistema de refrigeración por aire forzado.

En la siguiente Tabla 2.5 se muestra una explicación más detallada de cada componente que interviene en el sistema de refrigeración de batería por aire forzado.

Tabla 2.5 Componentes del sistema de refrigeración por aire

ELEMENTO	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS
Electroventilador	1	Accionamiento eléctrico. Una velocidad
Fusible	1	20,30 o 40 amperios
Relé	1	Trabajo simple 4 pines (positivo, negativo, entrada potencia y salida potencia)
Sensor de temperatura	1	Sensor tipo termistor

Fuente: (Autores)

- **Análisis de Factibilidad**

La refrigeración por aire no es adecuada para aplicaciones de alto rendimiento ya que su capacidad de eliminar el calor no es suficiente, sin embargo, en vehículos de rendimiento bajo su utilización satisface las necesidades de refrigeración.

Para determinar una configuración factible en el sistema, es decir que sea aplicable en vehículo en un aspecto dimensional, así como también no genere elevados costos ya sean estos económicos o en gasto de energía se planteó un listado de ventajas y desventajas descritas a continuación:

Ventajas:

- ~ Sistema sencillo tanto para su instalación como para su mantenimiento.
- ~ Necesita de poco espacio para su instalación.
- ~ Pocos elementos por ende menor costo.
- ~ No requiere de mantenimiento continuo.

Desventajas:

- ~ Ruidoso debido al funcionamiento del electroventilador.
- ~ Poca eficiencia para controlar elevadas temperaturas por tiempos prolongados.

2.3.3.2 Caracterización del sistema de refrigeración por líquido

Dentro de la conceptualización del sistema de refrigeración por líquido se consideró los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema aplicados a los requerimientos, necesidades y dimensiones del vehículo. Así como también se consideró los costos tanto económicos como energéticos que estos traerán consigo.

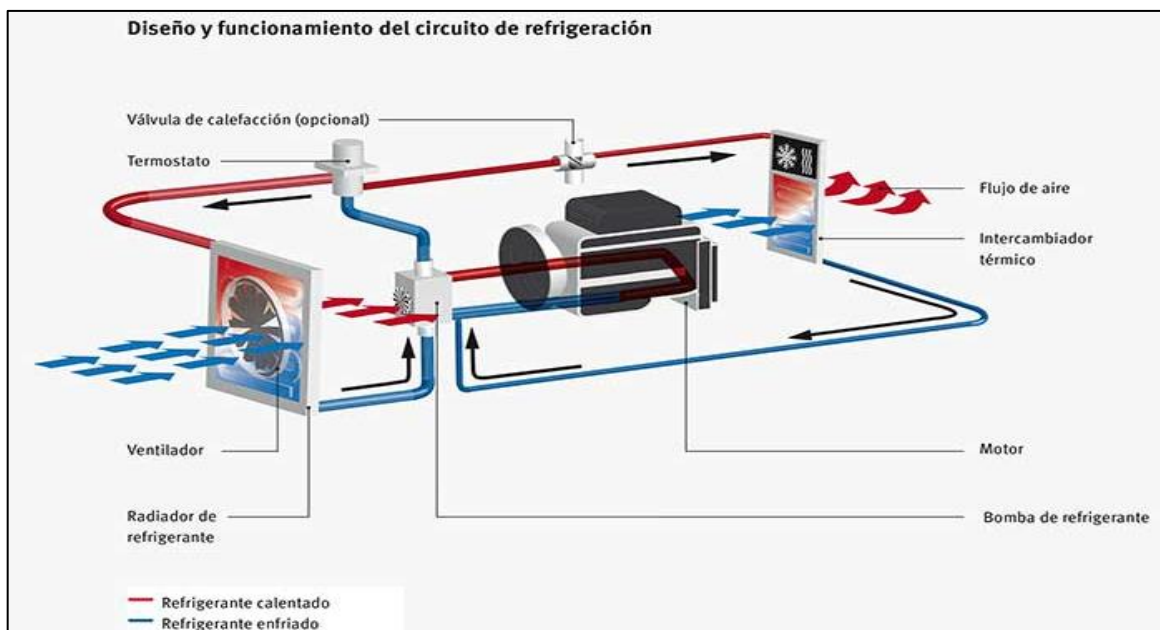


Figura 2.12 Circuito refrigeración por líquido

(Nieto, 2021)

En la Figura 2.12 se puede visualizar los componentes básicos y necesarios para el funcionamiento de un sistema de refrigeración por líquido.

La siguiente Tabla 2.6 se muestra una explicación más detallada de cada componente que interviene en el sistema de refrigeración de batería por líquido.

Tabla 2.6 Componentes del sistema de refrigeración por líquido

ELEMENTO	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS
BOMBA DE AGUA	1	Requiere de una fuente motriz para su accionamiento
TERMOSTATO	1	Su tipo y construcción varía de acuerdo con las temperaturas que maneje el sistema de refrigeración.
RADIADOR	1	Intercambia el calor entre dos medios. Su tamaño y construcción depende de la temperatura, presiones y cantidad de fluido refrigerante a utilizar.
CAÑERIAS	1	Las cañerías se eligen de acuerdo con el tipo de refrigerante a utilizar, así como también se considera las presiones y temperaturas de trabajo.
VENTILADOR	1	Puede ser de accionamiento directo (poleas y correa de accesorios) o indirecto (electrónico).
DEPÓSITO DE LÍQUIDO	1	Lugar donde se almacena el refrigerante para su próxima utilización.

Fuente: (Autores)

- **Análisis de Factibilidad**

Este tipo de refrigeración es acorde a vehículos de alto rendimiento y de autonomía amplia ya que su refrigeración se lo realiza en contacto directo a la celda de batería.

Para determinar una configuración factible en el sistema es decir que sea aplicable en vehículo en un aspecto dimensional, así como también no genere elevados costos ya sean estos económicos o en gasto de energía se planteó un listado de ventajas y desventajas.

Ventajas:

- ~ Genera una refrigeración homogénea.
- ~ Sistema silencioso.
- ~ Menor consumo de energía eléctrica.

Desventajas:

- ~ Mayor peso debido a la cantidad de elementos.
- ~ Mayor complejidad tanto para su instalación como para su mantenimiento.
- ~ Mayor costo
- ~ Mantenimiento y revisiones de funcionamiento continuas y programadas.
- ~ Mayor manipulación dentro de la batería.
- ~ Riesgos a cortocircuitos

2.3.3.3 Caracterización del sistema de refrigeración combinado (aire-líquido)

Dentro de la conceptualización del sistema de refrigeración combinado se consideró los componentes necesarios para el funcionamiento del sistema aplicados a los requerimientos y necesidades del vehículo. Así como también se consideró los costos económicos que estos traerán consigo.

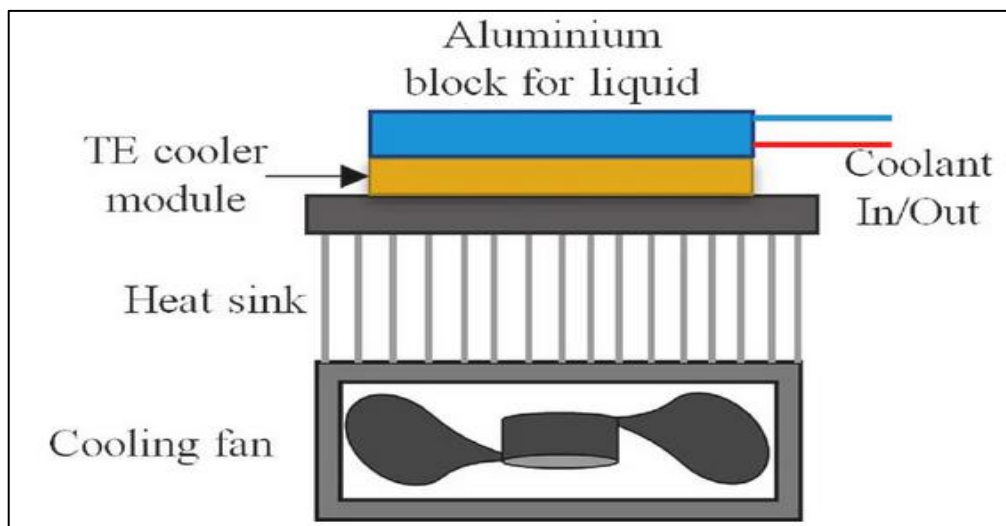


Figura 2.13 Sistema combinado
(García, 2019)

La Figura 2.13 se observa los componentes que intervienen en la refrigeración termoeléctrica, donde su principal componente es un electroventilador y un bloque de refrigeración en el cual se encuentra líquido refrigerante.

La Tabla 2.7 muestra las características de los componentes que intervienen en el sistema de refrigeración de batería combinado.

Tabla 2.7 Componentes del sistema de refrigeración combinado

ELEMENTO	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS
VENTILADOR	1	Debe ser de accionamiento eléctrico Su tamaño debe ser acorde a las necesidades del sistema
DISIPADOR DE CALOR	1	Material de construcción aluminio Dimensiones externas y configuración interna debe ser acorde a las necesidades del sistema
MÓDULO TEC COOLER	1	Genera un flujo de calor entre dos materiales por ende su tamaño y capacidad será acorde a las necesidades del sistema.
DEPÓSITO DE LÍQUIDO	1	Material aluminio Capacidad de almacenamiento acorde a las necesidades del sistema.
BOMBA DE AGUA	1	Requiere de una fuente motriz para su accionamiento

Fuente: (Autores)

- **Análisis de Factibilidad**

Utilizado de igual forma para vehículos de alto rendimiento y baterías de mayor capacidad de carga y autonomía, lo que no es recomendable para el vehículo seleccionado en este proyecto debido a que sus estándares de rendimiento no superan los 100 km de autonomía.

Para determinar una configuración factible en el sistema es decir que sea aplicable en vehículo en un aspecto dimensional, así como también no genere elevados costos ya sean estos económicos o en gasto de energía se planteó un listado de ventajas y desventajas.

Ventajas:

- ~ Mayor eficiencia de enfriamiento ya que tienen contacto casi directo con el elemento a enfriar.
- ~ Control de temperatura silencioso ya que este se da mediante un ajuste del suministro de voltaje
- ~ Sistema compacto.

Desventajas:

- ~ Elevado costo debido a sus componentes electrónicos y a sus componentes fabricados en aluminio.
- ~ Riesgo a derrames de líquido refrigerante.
- ~ Instalación y mantenimiento complejo.
- ~ Nuevo sistema tecnológico con poca información técnica.

2.3.3.4 Selección del sistema a implementar

Antes de realizar la elección correcta de uno de los tres sistemas se realizó una comparación de los valores obtenidos en sus caracterizaciones individuales.

La comparación de los sistemas se los realizó en base a las ventajas y desventajas que cada uno ofrece para el rediseño. Una vez puesto en un análisis cuantitativo los posibles sistemas aplicables para el desarrollo del rediseño se eligió el sistema más factible es decir el que garantice y satisfaga las necesidades del vehículo y en especial de la batería.

Las variables serán evaluadas con valores de 3-2-1 siendo 3 la mejor calificación y 1 la menor calificación, es decir el sistema que tenga la mayor puntuación total será el sistema más óptimo aplicable al vehículo.

Las variables que se tomaron en cuenta para la tabla de ponderación fueron las siguientes:

- Número de componentes
- Complejidad del sistema
- Coste de aplicación
- Disipación de calor

La Tabla 2.8 muestra la ponderación de los tres sistemas existentes a lo que se refiere la refrigeración de baterías de tracción.

Tabla 2.8 Puntuación para selección del sistema de refrigeración

SISTEMA	NÚMERO DE COMPONENTES	COMPLEJIDAD DEL SISTEMA	COSTES DE APLICACIÓN	DISIPACIÓN DE CALOR	TOTAL
Sistema de refrigeración por aire	3	3	3	1	14
Sistema de refrigeración por líquido	2	1	1	3	10
Sistema de refrigeración combinado	1	1	1	3	7

Fuente: (Autores)

Luego de realizar la respectiva ponderación dio como resultado que el sistema más conveniente a implementar al vehículo Renault Twizy es un sistema por refrigeración por aire, ya que en este interviene menos la manipulación de la batería de alta tensión.

2.3.4 MODELADO CAD EN SOLIDWORKS

El proceso de modelado del sistema se realizó por medio del software SolidWorks, el cual es de gran importancia tener en cuenta el dimensionamiento correcto tanto como las ubicaciones adecuadas de cada elemento esto con el fin de obtener resultados deseados y a su vez realizar los análisis pertinentes.

2.3.4.1 Diseño CAD componentes del vehículo

El diseño del vehículo se desarrolló con las medidas establecidas por el fabricante, esto con el propósito de conocer las ubicación y espacio que ocupa la batería de tracción y los demás elementos que lo componen dentro del vehículo.

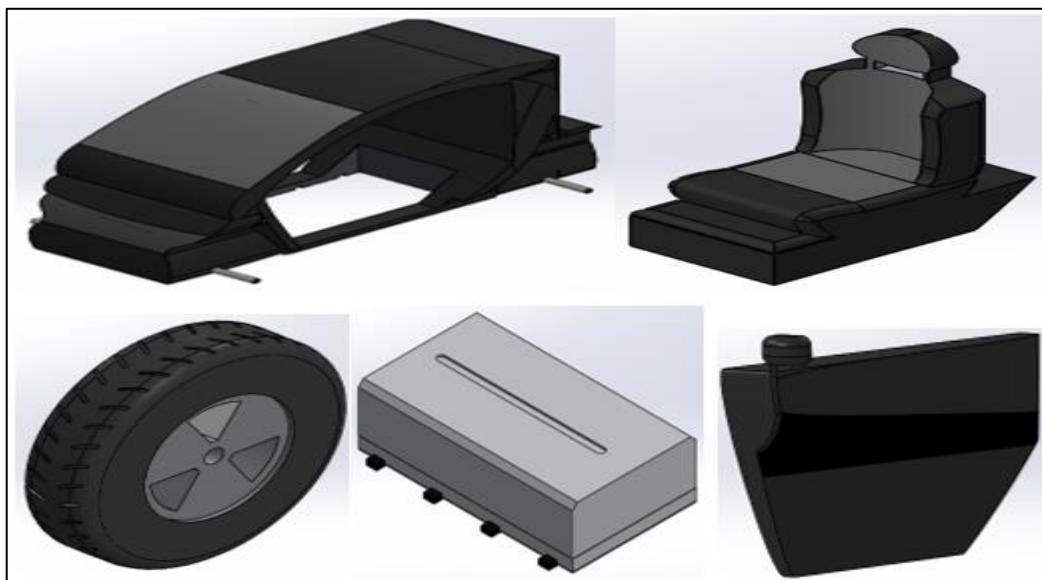


Figura 2.14 Partes del renaul twizy

La Figura 2.14 muestra cada componente del vehículo diseñado en el software SolidWorks como son: carrocería, puertas, ruedas, asiento y la batería de tracción.

2.3.4.2 Diseño CAD de la Batería de tracción y sus componentes

El diseño de la batería de tracción se desarrolló con las dimensiones especificadas por el fabricante y los componentes principales que intervienen en el aumento de temperatura dentro de la misma como son los módulos.

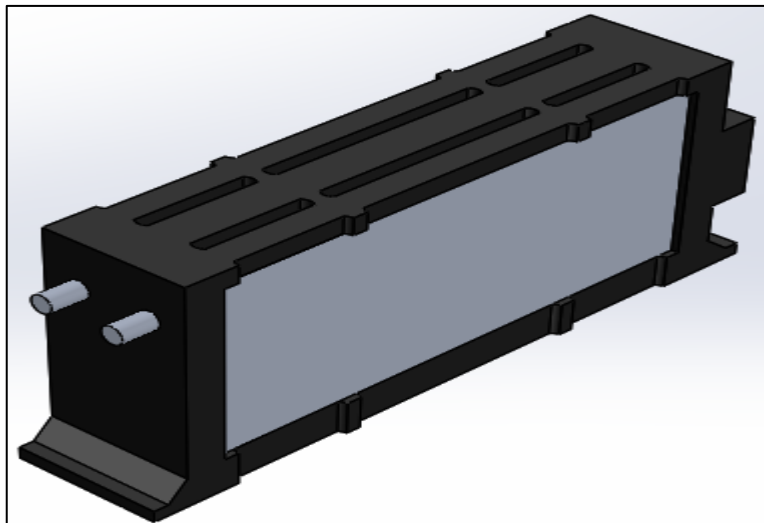


Figura 2.15 Módulo de batería

Como se muestra en la Figura 2.15 los módulos de batería son aquellos que llevan alojados a las celdas de litio, para este tipo de batería cada módulo alberga dos celdas de litio.

Una vez diseñado en SolidWorks todos los componentes se procede a realizar el ensamblado de cada uno, esto con el fin de ya tener armado y poder realizar las simulaciones pertinentes.

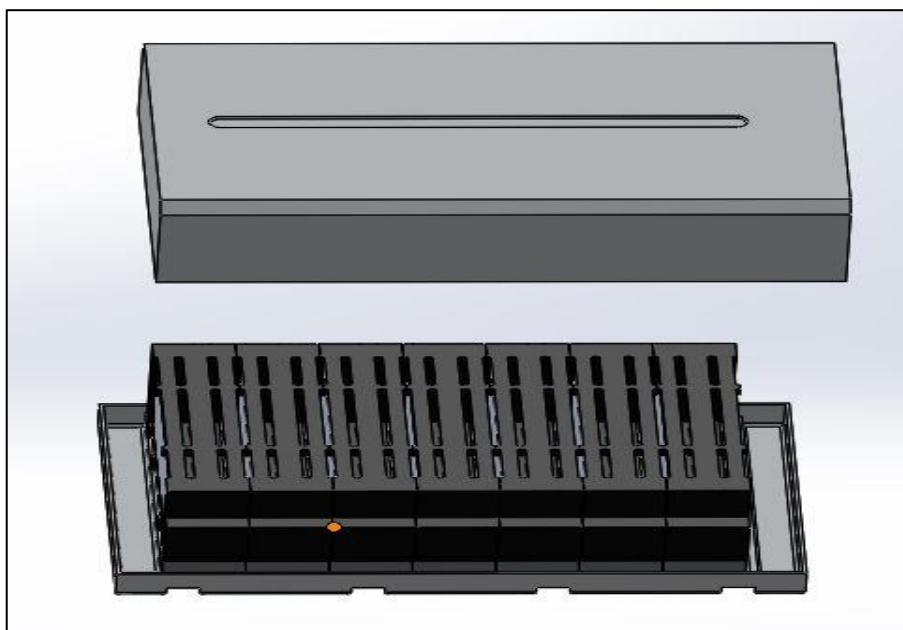


Figura 2.16 Modelado del pack de batería

En la Figura 2.16 se puede observar la batería de tracción ensamblada junto a sus componentes que son: las celdas de litio y los módulos, se puede identificar que el pack de

baterías consta de 7 módulos y en cada módulo se encuentran dos celdas de litio separadas entre sí, por lo que nos daría un total de 14 celdas de litio.

2.3.4.3 Ensamblaje CAD vehículo Renault Twizy

Finalizado el diseño de cada parte del vehículo se procedió a ensamblar cada una de ellas en la ubicación correspondiente, teniendo como resultado el diseño del vehículo.

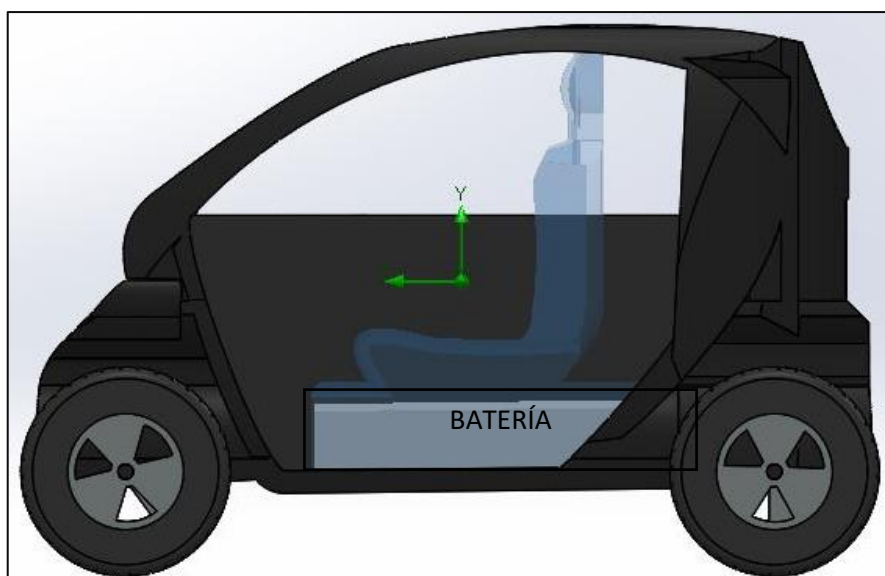


Figura 2.17 Modelado del Vehículo

En la Figura 2.17 se puede observar al vehículo ya con sus partes ensambladas en su lugar y como principal ensamble la ubicación de la batería, esta se encuentra por debajo del asiento del conductor y esta recubierta por lo que vendría a ser plásticos protectores dentro del habitáculo del conductor.

2.3.5 SIMULACIÓN DEL SISTEMA SELECCIONADO

La simulación del sistema seleccionado se realiza con los parámetros puestos a consideración en la conceptualización es decir considerando las dimensiones, componentes y parámetros de funcionamiento de cada uno de ellos.

La Tabla 2.9 muestra los valores que fueron ingresados en el software para la realización de simulación de flujo de aire y temperatura de los componentes, estos valores pueden variar dependiendo las condiciones de trabajo.

Tabla 2.9 Datos utilizados para la simulación

DATOS INGRESADOS EN EL SOFTWARE		
VARIABLES	PRUEBA 1	PRUEBA 2
Presión del aire	572 mm Hg	572 mm Hg
Velocidad del vehículo	30-60 km/h	60-80 km/h
Temperatura ambiente	25 °C	25 °C
Temperatura máxima de las celdas de litio	30 °C	55 °C
Material recubrimiento del pack de batería	Aluminio	Aluminio

Fuente: (Autores)

La simulación del sistema se planteó considerando el análisis de flujo de aire dentro de un sistema controlado con el fin de obtener datos de capacidad y rendimiento de cada uno de los elementos inmersos en el rediseño del sistema de refrigeración de la batería del vehículo urbano eléctrico en el que fue realizado este estudio.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo se enfoca en mostrar detalladamente los resultados conseguidos en la simulación del sistema ya caracterizado y el proceso realizado en la elaboración del rediseño a cerca del Sistema de refrigeración de baterías de tracción del vehículo urbano eléctrico, mediante la utilización del programa SolidWorks.

Posteriormente los resultados obtenidos previo al rediseño serán evaluados frente a diferentes parámetros y condiciones a los cuales se somete la batería, aquí se consideró variables que fueron cuantificadas para optar a una mejora del sistema.

Se describe también cada una de las simulaciones ejecutadas las cuales se procedió a efectuar como es el análisis térmico por medio de la dinámica de fluidos y los resultados obtenidos de cada simulación. Para finalizar se realizó el ensamblaje definitivo y la simulación del rediseño con el objetivo de proceder a un análisis de comparación de resultados finales.

3.1 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE REFRIGERACIÓN DE BATERÍA

La prueba de simulación se procedió a desarrollar con el propósito de identificar con mayor exactitud la reacción de temperatura que produce la batería al aplicarle distintas exigencias de trabajo. Como consecuencia de este estudio obtenemos resultados claros e identificamos las zonas donde se genera mayor temperatura.

El estudio de refrigeración se realizó mediante una simulación de flujo de aire y tomando en cuenta los valores de las pruebas de campo al cual el vehículo fue sometido. Con esto se obtuvo los valores de temperatura en el cual el vehículo se encontró sometido al momento de realizar las pruebas, de esta forma se identificó la trayectoria por donde el aire realiza su recorrido.

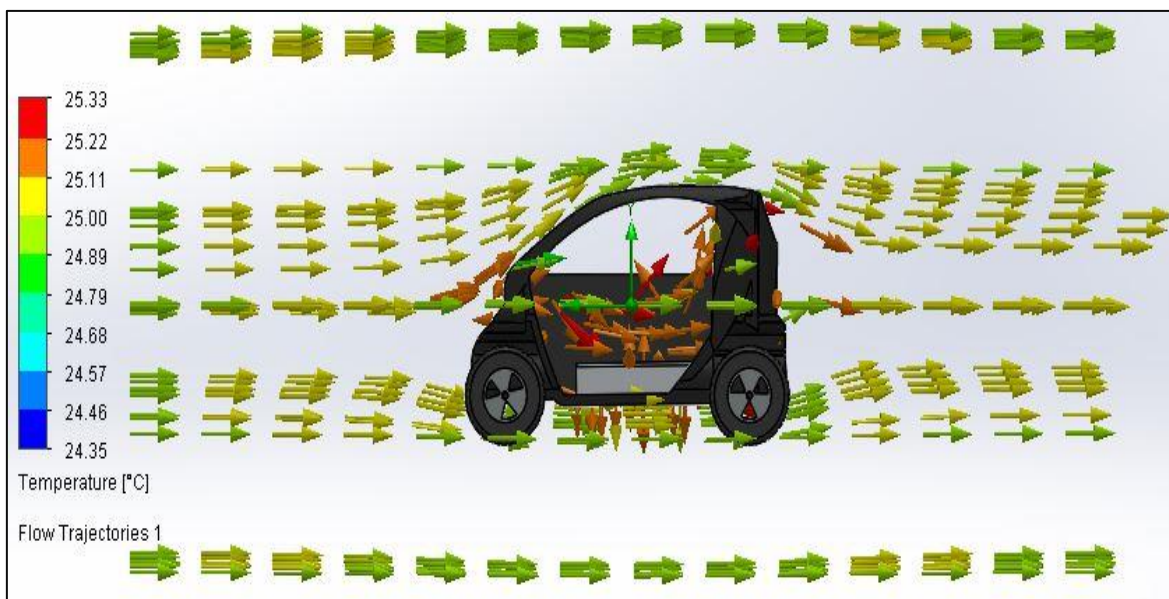


Figura 3.1 Simulación de flujo y temperatura del aire

La Figura 3.1 muestra la trayectoria del aire donde se observó que dentro del habitáculo del conductor este tiende a tener un ligero aumento de temperatura que es de 25.33°C con respecto al exterior del vehículo que se encuentra a una temperatura alrededor de 24°C .

La Tabla 3.1 muestra los resultados de la evaluación de la trayectoria de flujo de aire, en los que se muestran los valores cuantitativos máximos, mínimos y promedio del estudio, también se puede observar el progreso del estudio esto nos indica el porcentaje de estudio que se realizó.

Tabla 3.1 Estudio de flujo de aire

NOMBRE DEL OBJETIVO	UNIDAD	VALOR PROMEDIO	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	PROGRESO [%]	USE EN CONVERGENCIA
Temperatura (Fluido) 1	[$^{\circ}\text{C}$]	24,83	24,34	25,33	100	Yes
Velocidad 1	[km/h]	78,42	78,42	78,42	100	Yes
Presión 1	[mm Hg]	572,17	572,17	572,17	100	Yes

Fuente: (Autores)

Los resultados descritos en la tabla anteriormente se las obtuvo por medio del software de simulación SolidWorks, gracias a esto se facilitó conocer valores exactos de cada estudio.

3.1.1 SIMULACIÓN TÉRMICA EN LA PRUEBA A VELOCIDAD MEDIA

La prueba a velocidad media el vehículo fue sometido a velocidades no mayores a los 60 km/h, esto dio a conocer que la temperatura de las celdas alcanzaban una temperatura alrededor de 30 °C y con los siguientes datos se procedió a ingresar la información en el asistente de simulación de SolidWorks Flow Simulation.

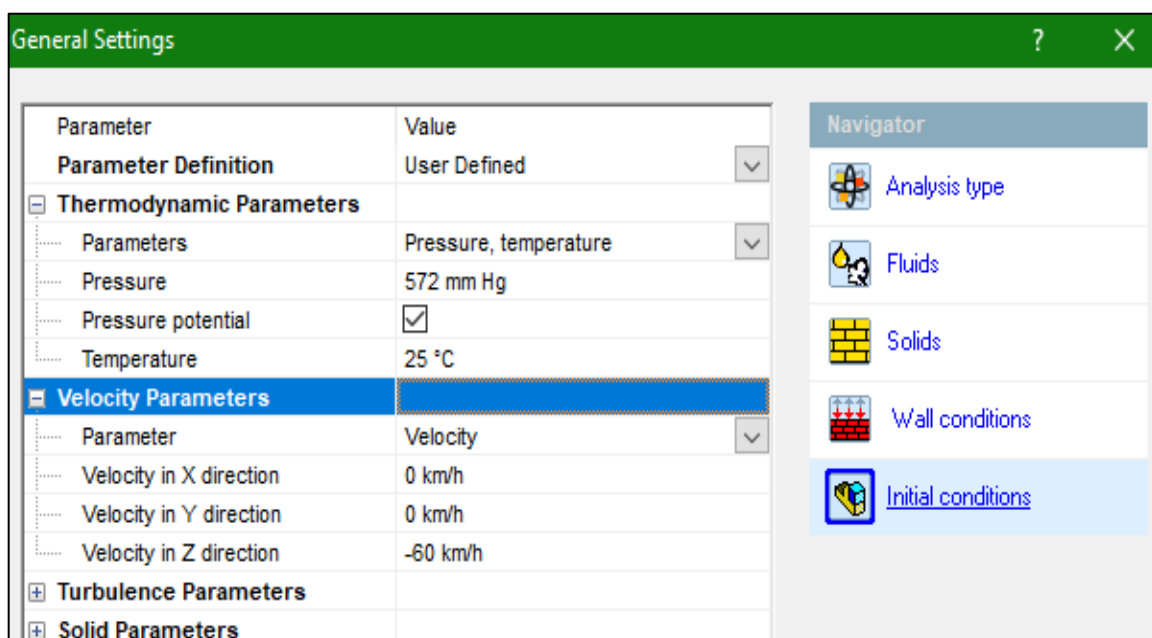


Figura 3.2 Condiciones iniciales de la prueba a media velocidad

La Figura 3.2 muestra el ingreso de datos iniciales en las que se realizó la prueba de ruta a velocidad media como son: la velocidad, presión atmosférica y temperatura ambiente, para detallar valores en el programa de simulación SolidWorks y obtener resultados reales.

Una vez ingresados los parámetros de trabajo iniciales se procede a realizar la simulación térmica dentro del pack de batería en el cual se obtuvo el siguiente resultado.

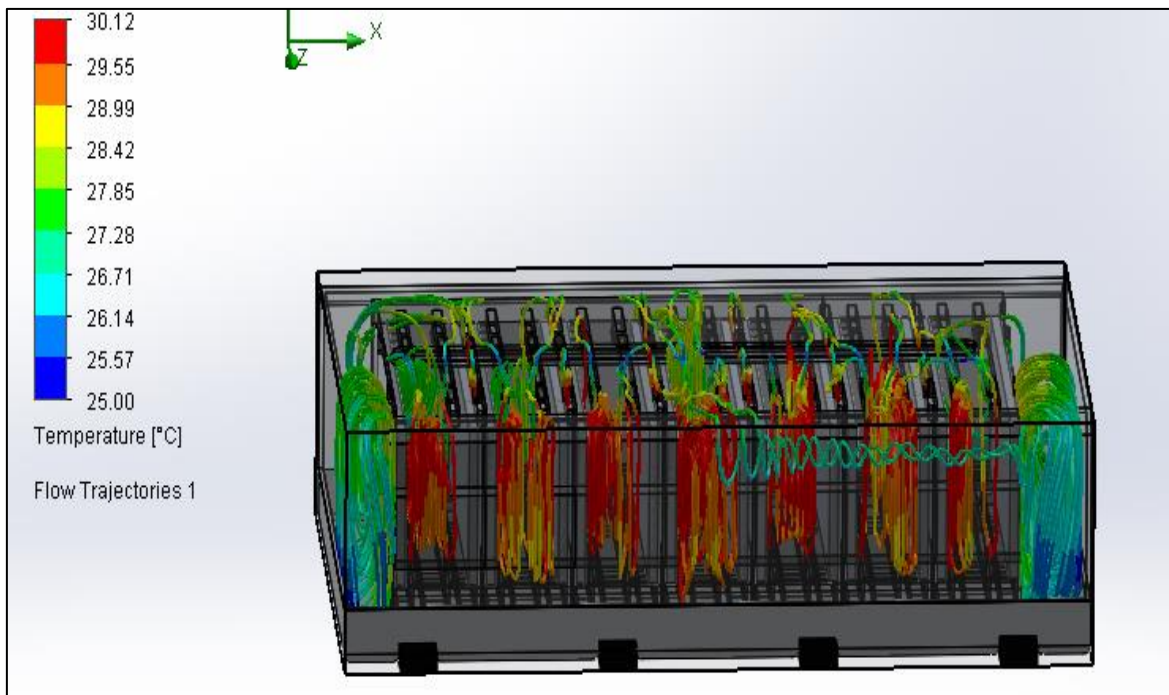


Figura 3.3 Temperatura y trayectoria del flujo de aire dentro del pack

La Figura 3.3 muestra el resultado de la trayectoria y la temperatura del fluido en este caso aire, con esto se pudo identificar donde se encuentran las zonas con mayor temperatura dentro del pack de batería.

La Tabla 3.2 muestra los resultados de temperatura obtenidos en las trayectorias de flujo donde se puede observar que alcanza una temperatura máxima de 30 °C dentro del pack de batería.

Tabla 3.2 Temperatura dentro del pack de batería en la prueba a velocidad media

	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Progreso	Uso en
Nombre del objetivo	[°C]	[°C]	[°C]	[%]	Convergencia
Temperatura (Fluido) 1	27,56	25,00	30,12	100	Si

Fuente: (Autores)

Otro estudio para tomar en cuenta sobre el análisis térmico fue los exteriores de la batería, esto se realizó con el fin de poder identificar los puntos donde se produce el calentamiento.

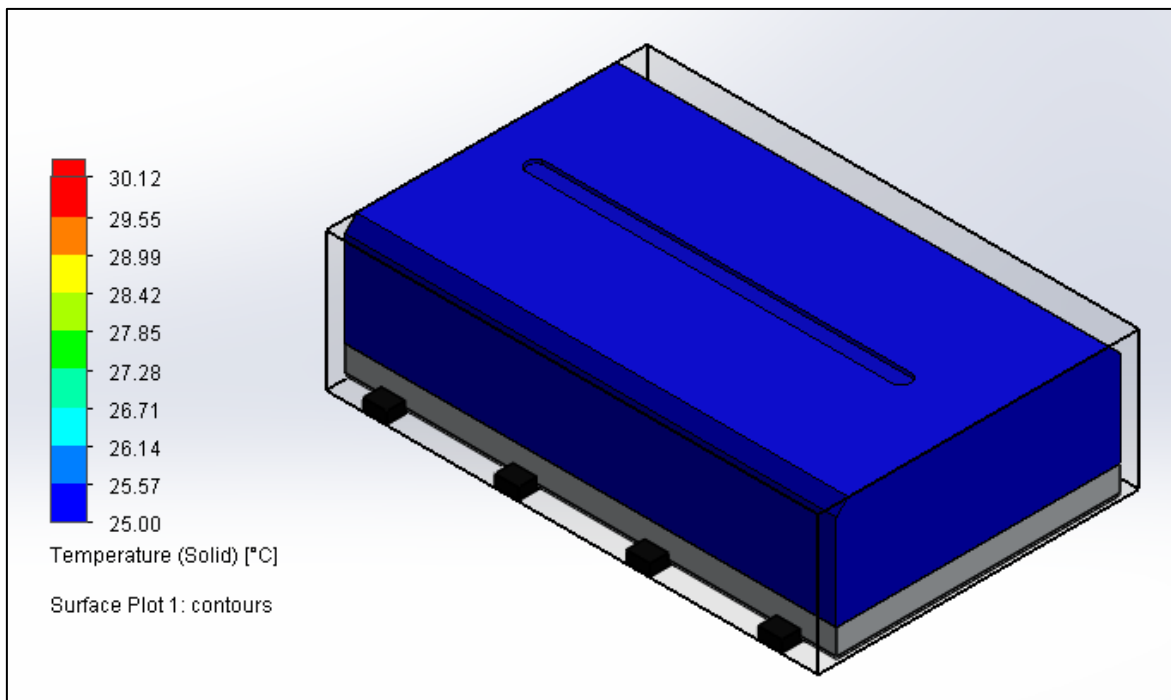


Figura 3.4 Análisis de temperatura en la superficie del pack

Luego de realizarse la simulación térmica del pack de baterías se pudo identificar que en la prueba de ruta a velocidad media no existe una transferencia de calor hacia el exterior, como se puede observar en la Figura 3.4, la tapa del pack de batería se mantiene a una temperatura ambiente como lo indica el color azul en comparación de la regla de colores de la temperatura.

En la Tabla 3.3 se puede observar que el valor de la temperatura de la tapa del pack de batería no varía con respecto a la temperatura ambiente.

Tabla 3.3 Temperatura en la superficie del pack de batería a velocidad media

Nombre del objetivo	Valor promedio [°C]	Valor mínimo [°C]	Valor máximo [°C]	Progreso [%]	Use en Convergencia
Temperatura (Fluido) 1	25,00	25,00	25.00	100	Yes

Fuente: (Autores)

3.1.2 SIMULACIÓN TÉRMICA EN LA PRUEBA A VELOCIDAD ALTA

Con la herramienta de SolidWorks Flow Simulation se procedió a ingresar los datos de las condiciones iniciales y ambientales en las que fue realizada la prueba de ruta a velocidad alta y máxima.

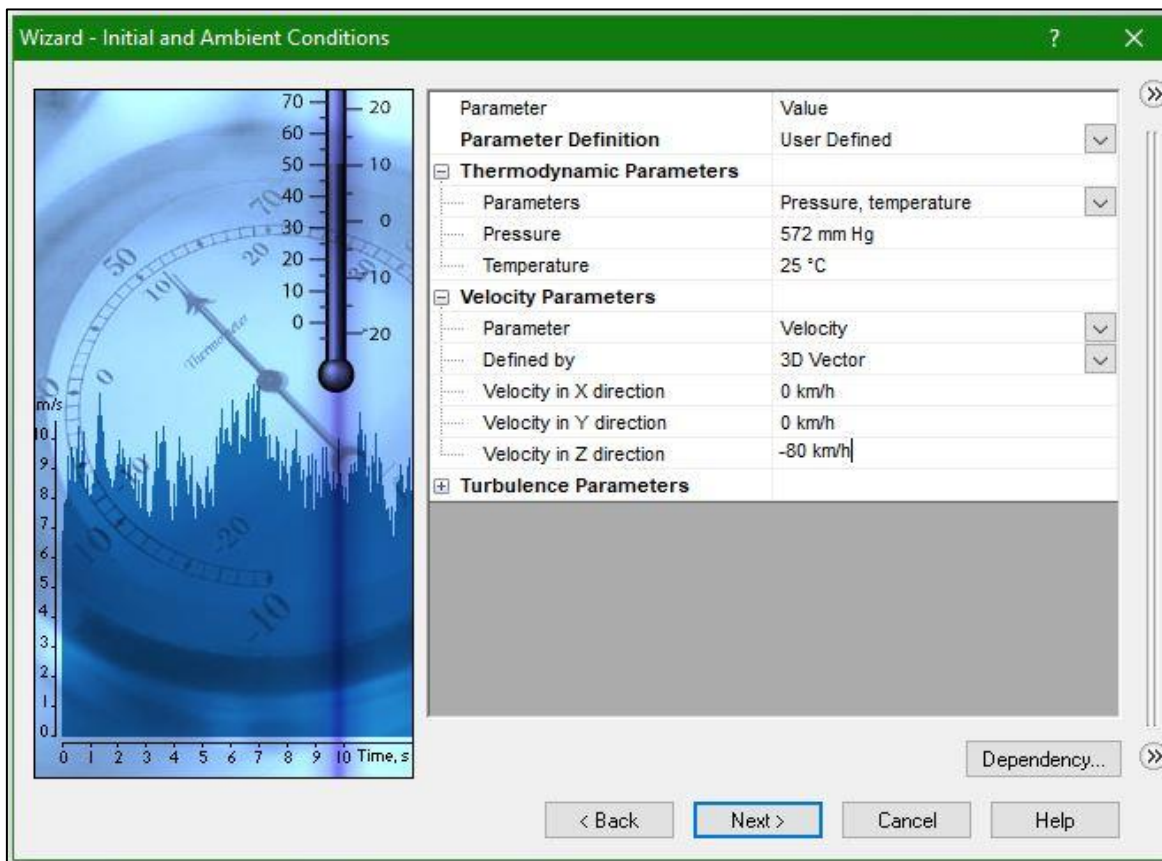


Figura 3.5 Ventana del asistente de Simulación de SolidWorks

En la Figura 3.5 se muestra la ventana de simulación en donde se procede a llenar los datos iniciales de las condiciones ambientales e iniciales como son la velocidad, presión y temperatura ambiente.

En la prueba de ruta a velocidad máxima el vehículo fue sometido a mayores exigencias de velocidad lo que reflejó un claro aumento de temperatura dentro del pack de batería, el resultado que se dio a conocer es que mientras mayor sea la velocidad a la que está sometido el vehículo el aumento de temperatura dentro del pack de batería aumentaría con mayor rapidez.

Una vez conocido los resultados y valores de la prueba se procedió a ejecutar la simulación de flujo de aire realizando una simulación térmica, donde se conoció la trayectoria del flujo de aire dentro del pack de batería.

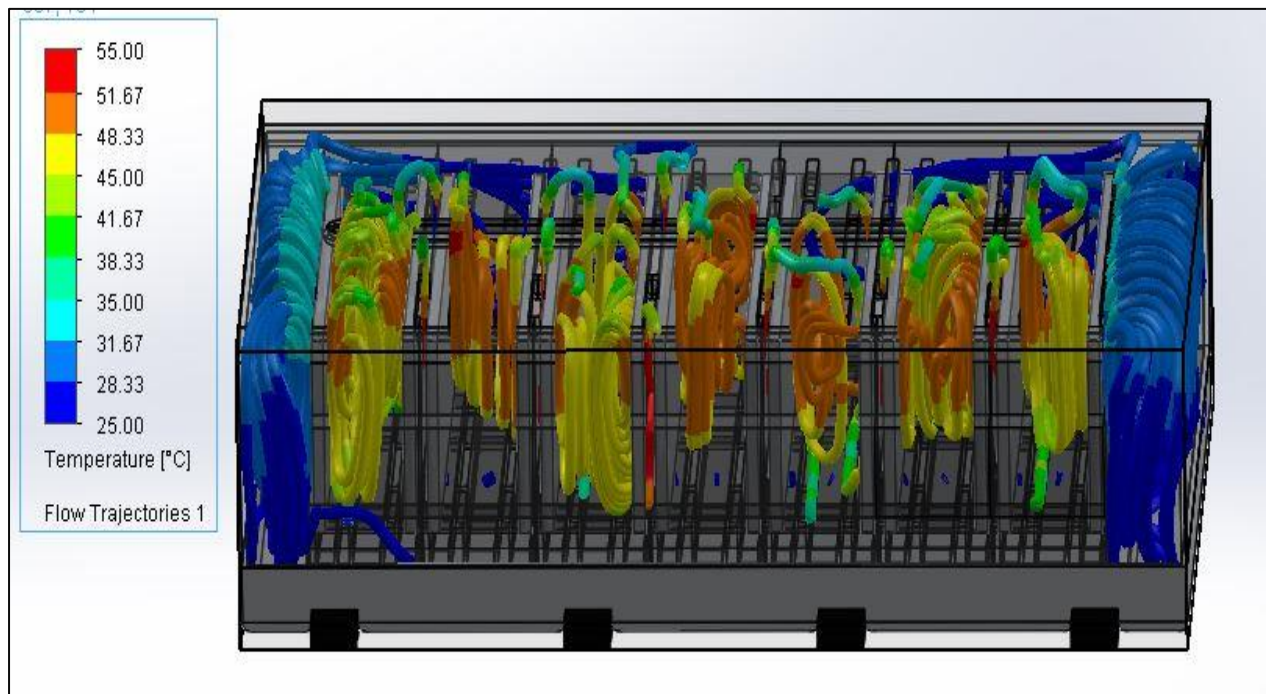


Figura 3.6 Análisis de temperatura dentro del pack sin refrigeración

La presentación de la Figura 3.6 se pudo observar mediante la simulación, las áreas donde más tiende a calentarse el pack de baterías, esto dio como resultado el lugar donde mayor temperatura existe es donde se encuentran las celdas de litio, obteniendo valores de temperatura de 48 °C a 55 °C, lo que es perjudicial para la batería.

Como se puede observar en la Tabla 3.4 el incremento de temperatura fue alto, llegando a condiciones de temperatura límites para el bienestar de la batería de tracción.

Tabla 3.4 Temperatura dentro del pack de batería en la prueba a velocidad alta

	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo	Progreso	Uso en Convergencia
Nombre del objetivo	[°C]	[°C]	[°C]	[%]	a
Temperatura (Fluido) 1	40,00	25,00	55,00	100	Si

Fuente: (Autores)

De igual manera se procedió a realizar el análisis de temperatura en las tapas exteriores que cubren el pack de baterías, lo que nos permitió identificar los posibles puntos de mayor calentamiento.

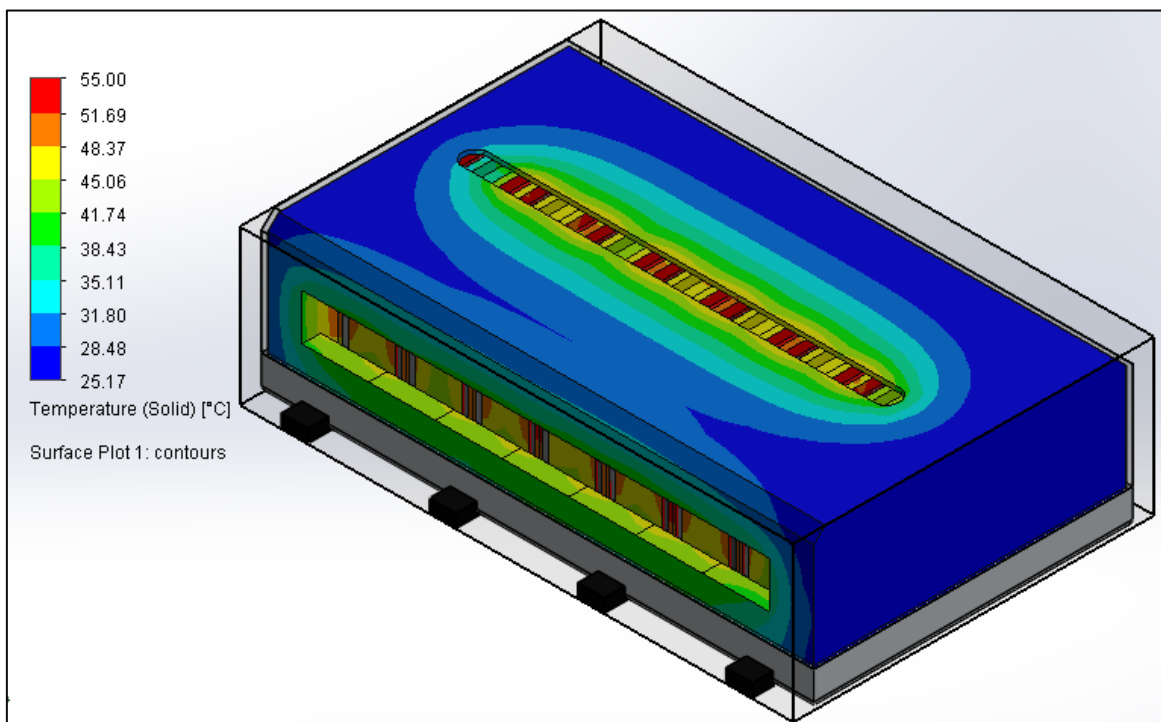


Figura 3.7 Análisis de temperatura en la superficie del pack de baterías

En la Figura 3.7 se puede observar que las celdas de litio que se encuentran de color rojo alcanzan temperaturas de hasta 55 °C y esta temperatura es transferida a la superficie del pack de baterías. El color azul del resultado de la simulación se identificó que en la superficie del pack de baterías en su mayor parte se encontraba a temperatura ambiente a excepción de los puntos donde se encuentran situadas las celdas de litio que son las que provocaban mayor transferencia térmica.

Los resultados mostrados en la Tabla 3.5 podemos notar que existe una transferencia de calor hacia la superficie del pack de batería.

Tabla 3.5 Temperatura en la superficie del pack de batería

Nombre del objetivo	Valor promedio [°C]	Valor mínimo [°C]	Valor máximo [°C]	Progreso [%]	Use en Convergencia
Temperatura (Fluido) 1	35,11	25,17	45.06	100	Yes

Fuente: (Autores)

3.1.3 RESULTADOS DE SIMULACIÓN DE LA PRUEBA A VELOCIDAD MEDIA Y ALTA

Para tener conocimiento de cada una de las pruebas de ruta se procedió a realizar una comparación de resultados obtenidos, esto para tratar de determinar el rediseño.

La Tabla 3.6 muestra los valores obtenidos en la simulación con los datos ingresados en cada prueba de acuerdo con las condiciones a las cuales fue sometido el vehículo.

Tabla 3.6 Comparación de temperaturas del módulo entre pruebas

	Velocidad máxima	Temperatura inicial de los módulos	Temperatura de los módulos después de las pruebas
Prueba a velocidad media	60 km/h	25 °C	30 °C
Prueba a velocidad máxima	80 km/h	25 °C	55 °C

Fuente: (Autores)

Con los resultados obtenidos por medio de la simulación térmica se logró identificar que en la prueba a velocidad máxima es la que provocó mayor aumento de temperatura dentro de la batería, también se conoció los puntos de mayor calentamiento por ende se procede a realizar un estudio y análisis de rediseño.

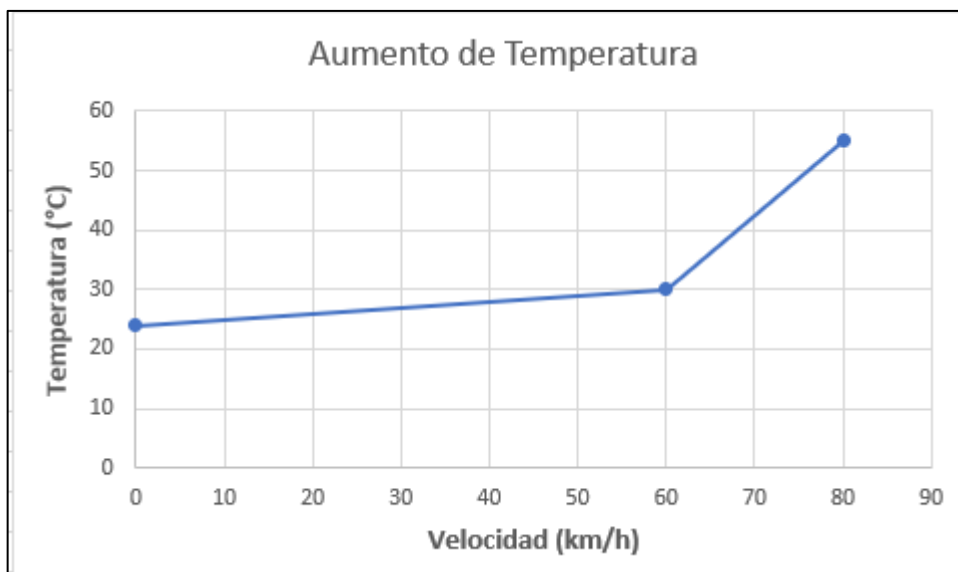


Figura 3.8 Aumento de temperatura respecto a la velocidad

La Figura 3.8 muestra el incremento de temperatura dentro del pack de baterías con respecto a la velocidad en la que se encuentra el vehículo.

Posteriormente de haber realizado la simulación y pruebas térmicas se procedió a investigar las distintas soluciones sobre lo que se refiere la refrigeración de baterías de alta tensión, esto mediante generación de ideas y propuestas a soluciones más convenientes para el rediseño.

3.2 REDISEÑO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE BATERÍAS

Luego de una investigación extensa acerca de las diferentes soluciones a lo que se refiere con la refrigeración de baterías de tracción, se procede a proponer con la generación de ideas factibles para el rediseño.

El sistema de refrigeración seleccionado una vez hecho las pruebas de rutas y mediante las necesidades identificadas, se ha elegido un sistema de refrigeración de baterías de tracción por medio de aire forzado.

El análisis de flujo y temperatura determinó las zonas que tienen mayor aumento de temperatura, de tal forma se pudo identificar la ubicación de los ventiladores, por lo que se propuso a ser ubicados en la parte superior del pack de batería, ya que se dispone de mayor espacio y el flujo de aire de refrigeración será directo en los puntos de mayor calentamiento.

3.2.1 VENTILADOR UTILIZADO PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN PROPUESTO

El sistema de refrigeración de baterías de tracción debe poseer ventiladores con características óptimas para la ejecución de su trabajo, como es el caso de este la disipación de calor generado dentro del pack de baterías.

De tal manera se propuso a investigar el tipo de ventilador óptimo para el presente estudio, por lo que se encontró como resultado el ventilador de marca ORION el cual ya ha sido utilizado en proyectos similares a este y ha generado resultados satisfactorios.

La Tabla 3.7 muestra las características generales de funcionamiento y trabajo del ventilador utilizado para el desarrollo de las simulaciones.

Tabla 3.7 Ventilador seleccionado

ORION OD9220				
Voltaje (V)	Tipo de Voltaje	RPM	Flujo de aire (CFM)	Ruido (dB)
12	DC	2700	32	36.7

Fuente: (Autores)

Para conocer las medidas y características del ventilador diríjase al ANEXO I en donde se especifica la ficha técnica del ventilador.

3.2.1.1 Diseño CAD del ventilador

El ventilador seleccionado para la refrigeración de batería fue diseñado con dimensiones especificadas por el fabricante con el propósito de conocer el espacio que ocupa al momento de ser instalado en el pack de baterías.



Figura 3.9 Diseño CAD del ventilador

La Figura 3.9 muestra el ventilador ya diseñado en el programa SolidWorks con dimensionamiento real, el cual será utilizado para realizar las respectivas simulaciones.

3.2.1.2 Especificaciones técnicas del ventilador al software de simulación SolidWorks

SolidWorks dispone de una amplia base de datos en las que se puede encontrar gran variedad de componentes industriales como: disipadores de calor, ventiladores, etc., con valores de trabajo ya especificados, los cuales pueden ser seleccionados para los diferentes casos de estudio de simulación, pero también permite el ingreso de nuevos componentes con el que se requiera realizar un estudio.

De tal manera una vez diseñado el ventilador, se procedió a realizar el ingreso de los valores de trabajo y funcionamiento, esto con el fin de obtener valores reales de los resultados al momento de realizar la simulación térmica de fluidos.

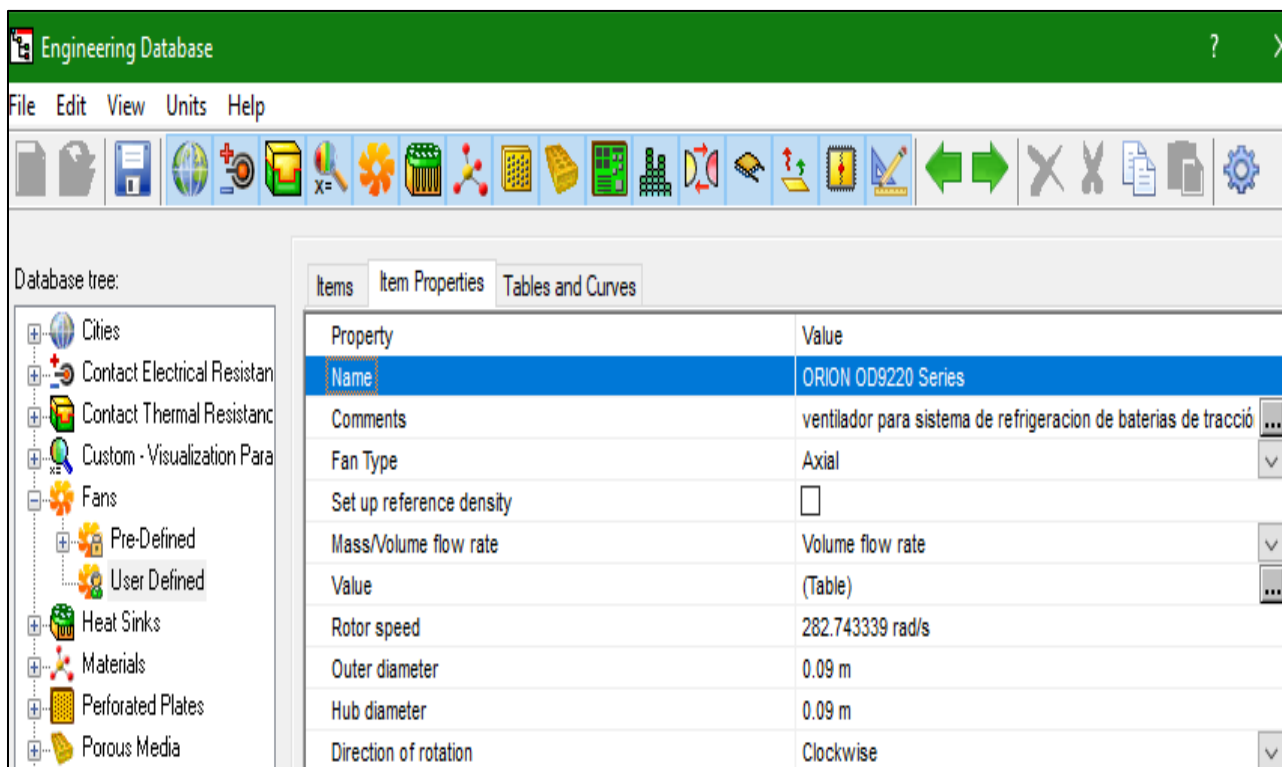


Figura 3.10 Ingreso de valores de trabajo del ventilador

La Figura 3.10 muestra la ventana Base de datos de ingeniería, en donde se procedió a ingresar los valores y características de trabajo del ventilador, en este caso es un ventilador axial de caudal volumétrico, que trabaja en sentido horario a las manecillas del reloj.

Finalmente, ya definido los valores de trabajo se procede a guardar en la biblioteca del software para ser utilizado al momento de realizar la simulación.

3.2.2 REDISEÑO DEL PACK DE BATERÍAS

Una vez seleccionado los componentes que intervienen en la refrigeración por medio de aire forzado se procedió a realizar la modificación del elemento que albergará a cada ventilador.

La parte principal seleccionada para rediseñar es la tapa superior del pack de baterías, esto con el propósito de contener 5 ventiladores que actuarán directamente sobre las zonas de mayor calentamiento dentro del pack, otra modificación que se realizó es la perforación de rejillas de ventilación para la disipación del aire caliente dentro del pack.

Se propuso la modificación de este elemento debido a que su superficie es la que abarca la mayor cantidad del flujo de aire y las zonas de calentamiento pueden ser refrigeradas directamente.

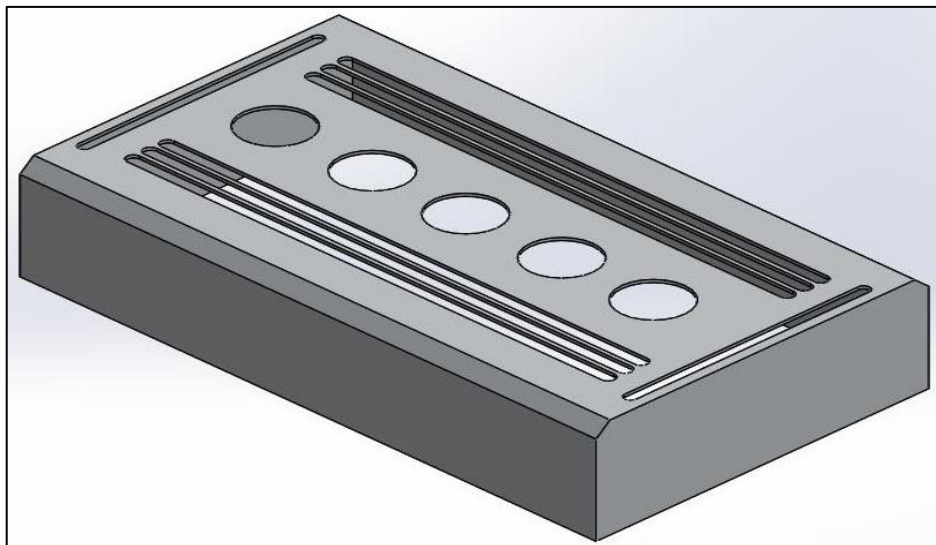


Figura 3.11 Tapa superior del pack de batería modificada

La Figura 3.11 muestra la tapa superior de la batería donde se realizó un rediseño de su estructura, como se puede observar se implementó 5 perforaciones circulares de acuerdo con las medidas de los ventiladores que albergará, también se efectuó rejillas de ventilación con el fin de que exista recirculación de aire para la disipación de calor generado dentro del pack de batería.

Los planos y las medidas efectuadas en la modificación de la tapa de batería se pueden apreciar en el ANEXO II.

3.3 ENSAMBLAJE DE LOS VENTILADORES A LA TAPA DEL PACK DE BATERÍA MODIFICADA

Con el diseño de la tapa del pack de batería ya modificado se procedió a ubicar los ventiladores en sus respectivos lugares.

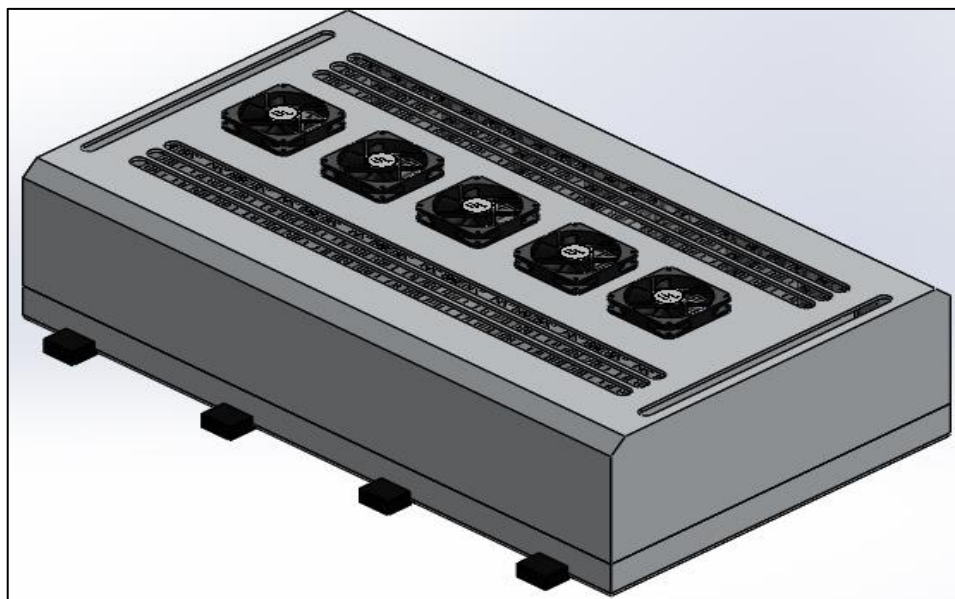


Figura 3.12 Ubicación de los ventiladores sobre la Tapa superior del pack de batería modificada

En la Figura 3.12 se muestra la tapa superior del pack de batería ya ensamblada en su posición y con sus respectivos ventiladores ubicados de acuerdo con lo establecido para consiguiente realizar las respectivas simulaciones.

3.3.1 VERIFICACIÓN DE LA UBICACIÓN DE LOS VENTILADORES

Para validar la ubicación de los ventiladores se procedió a realizar una simulación de la trayectoria del flujo de aire, esto con el fin de observar la trayectoria que tomará el flujo de aire ingresado y refrigere correctamente los módulos de la batería.

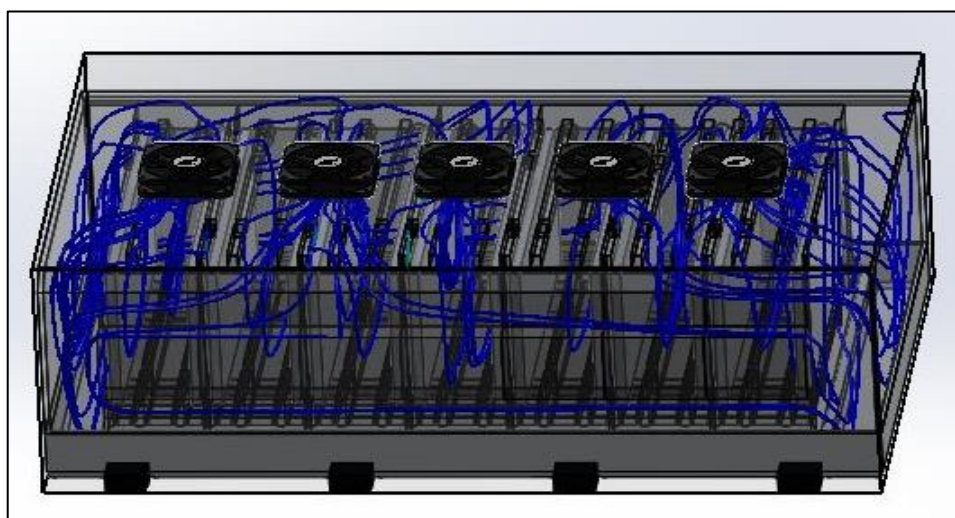


Figura 3.13 Trayectoria del flujo de aire

Como se puede observar en la Figura 3.13 la colocación de los ventiladores es correcta debido a que el flujo de aire que se aprecia de color azul recubre a los módulos ya que son las zonas de calentamiento, por lo tanto, el sistema de refrigeración puede ser utilizado para el cumplimiento de su propósito.

3.4 CIRCUITO ELÉCTRICO DE CONTROL PARA LOS VENTILADORES

El diseño y simulación del circuito eléctrico ayuda al fácil entendimiento y diagnóstico de fallas que pueden ocurrir al momento de activación de los ventiladores, por tal motivo se procedió a realizar la simulación de trabajo y verificar su correcto funcionamiento.

En la Tabla 3.8 se procede a especificar los elementos utilizados para el diseño y simulación del circuito eléctrico que comandará la activación de los ventiladores.

Tabla 3.8 Componentes del circuito eléctrico

NÚMERO	COMPONENTE	TIPO
1	Relé	Contacto normalmente abierto
1	Sensor de temperatura	Termistor
1	Resistencia	2,2 k Ω
1	Transistor	NPN
1	Potenciómetro	500 Ω
1	Diodo	12 V
5	Ventiladores	12 V

Fuente: (Autores)

El funcionamiento del circuito se describe a continuación:

El circuito eléctrico consta de un sensor de temperatura el cual va a estar tomando lectura constante de la temperatura dentro del pack de batería, de acuerdo con la variación de temperatura medida enviara una señal eléctrica hacia el transistor, este tiene la misión de amplificar la tensión enviada por el sensor de temperatura para proceder con la excitación del Relé, que a su vez actuara como un interruptor automático y procederá a activar los ventiladores.

Cabe destacar que la activación de los ventiladores se lo realizará desde una temperatura de 35° C, esto con el fin de precautelar la seguridad y bienestar de la batería de tracción, pero dicho valor de activación se lo puede variar gracias a la implementación de una resistencia

variable (Potenciómetro) la cual tiene como función regular la intensidad y sensibilidad con la que mide el sensor, es decir que permitirá graduar el valor de activación.

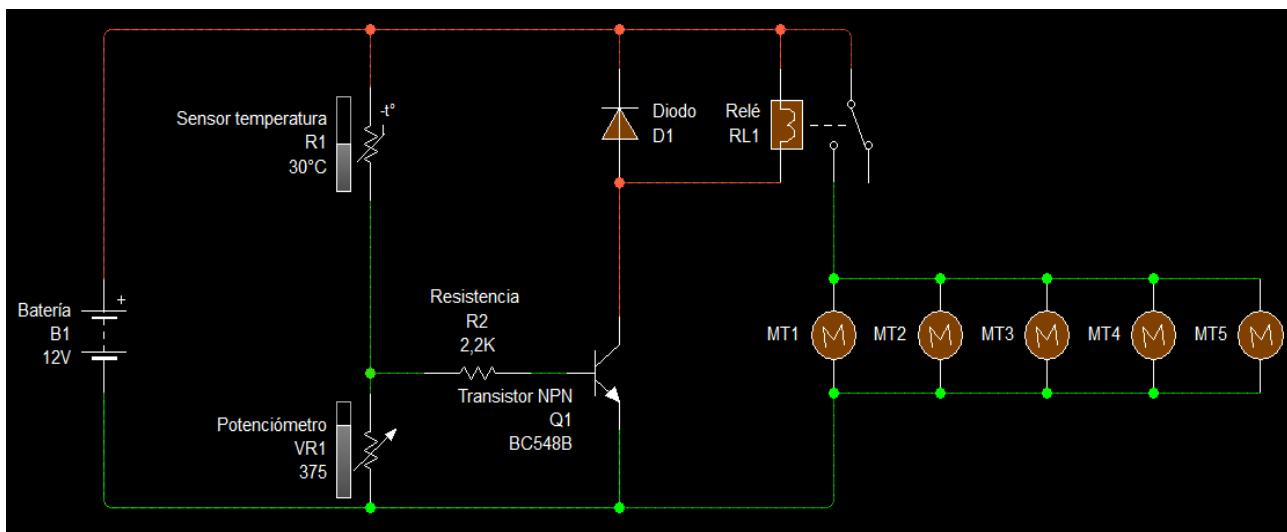


Figura 3.14 Circuito eléctrico inactivo

La Figura 3.14 muestra el diseño del circuito y sus componentes, como se aprecia el sensor de temperatura da una lectura de un valor menor a los 35°C , por ende, el circuito se encontrará inactivo y el Relé mantendrá su contacto normalmente abierto, provocando que los ventiladores no inicien su trabajo.

A medida que la temperatura vaya aumentando y esta llegue o supere el valor establecido de 35°C el circuito procederá con la activación de los ventiladores.

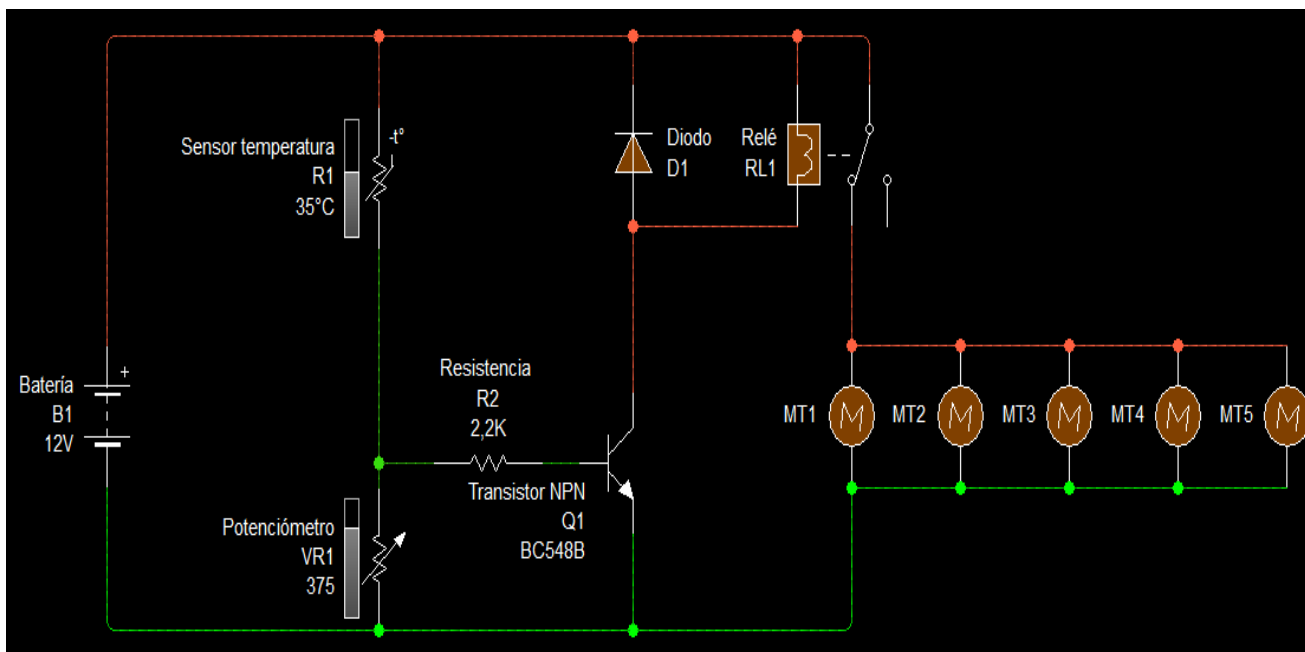


Figura 3.15 Circuito eléctrico activo

En la Figura 3.15 se observa que el sensor de temperatura se encuentra a un valor de 35 °C lo que genera la excitación del Relé y mediante la generación de un campo magnético dentro del mismo provoca que el contacto normalmente abierto proceda a cerrar el circuito, dando paso a la señal eléctrica que induce a la activación de los ventiladores.

Para el funcionamiento del circuito eléctrico se procede a tomar la tensión eléctrica de la batería de bajo voltaje creando un circuito independiente, en el cual los terminales negativos de los ventiladores van conectados al polo negativo de la batería y los terminales positivos van conectados al relé.

3.5 SIMULACIÓN DEL REDISEÑO

La simulación garantiza que el ensamblaje y los componentes que intervienen en el rediseño funcionen de una forma adecuada y en los rangos de temperatura establecidos, evitando así sobrecalentamientos que afecten a la vida útil y rendimiento de la batería a futuro.

3.5.1 PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

Los parámetros por tomar en cuenta al momento de realizar la simulación del sistema de refrigeración de batería son resultados y condiciones en las que se encontró la batería al momento de ejecutar las pruebas de campo en las que se puede destacar las zonas donde existe mayor aumento de temperatura y requieren la disipación de la misma, por ende, se toma los valores cuantitativos del resultado de la prueba de campo número 2, ya que en esta se pudo observar un mayor aumento de temperatura.

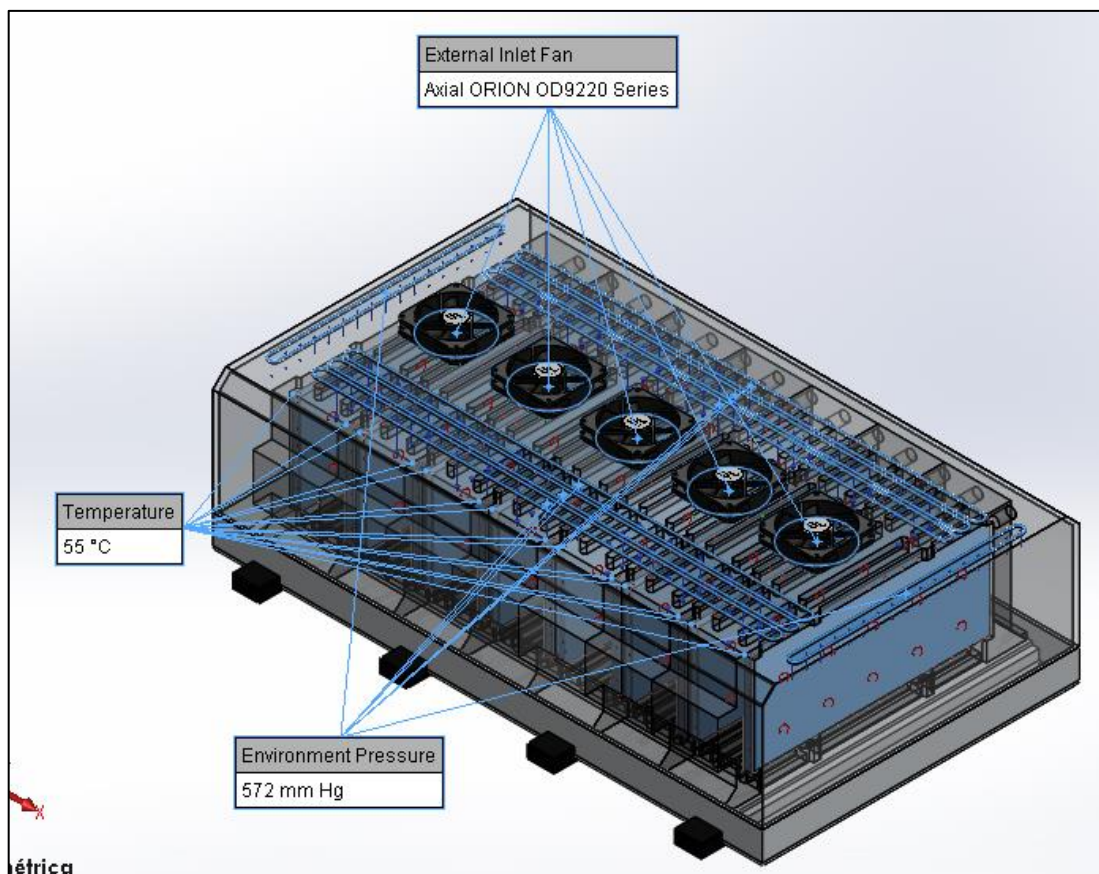


Figura 3.16 Parámetros de simulación

Como se puede observar en la Figura 3.16 los parámetros de simulación fueron establecidos de acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba de campo y se instaura cada uno de los componentes como sus valores de estudio. Se especifica el ventilador seleccionado, la temperatura generada dentro del pack de baterías y la presión ambiental en la que fue realizada la respectiva prueba.

La Tabla 3.9 Indica los materiales especificados e ingresados en la simulación para obtener dinámicas reales sobre las superficies, la selección de materiales se lo realizó previo a la ejecución de simulación.

Tabla 3.9 Selección de materiales

Materiales de cada elemento del pack de batería	
Elemento	Material
Tapa superior del pack de batería	Aluminio
Base del pack de batería	Aluminio
Ventiladores	Aislante
Soporte del módulo de batería	Aislante
Celdas de batería	Aluminio

Fuente: (Autores)

Una vez establecidos los parámetros de funcionamiento se procedió a realizar las simulaciones térmicas, así como la dinámica de fluidos del rediseño del sistema de refrigeración de batería.

3.6 RESULTADOS DE SIMULACIÓN DEL REDISEÑO

Para garantizar que el sistema de refrigeración rediseñado sea válido se realizó la simulación térmica en la cual arrojó los siguientes resultados explicados a continuación. Se debe tomar en cuenta que durante su marcha va a existir diferenciaciones de temperatura con respecto al tiempo y la intensidad del trabajo a la cual fue sometida la batería de tracción.

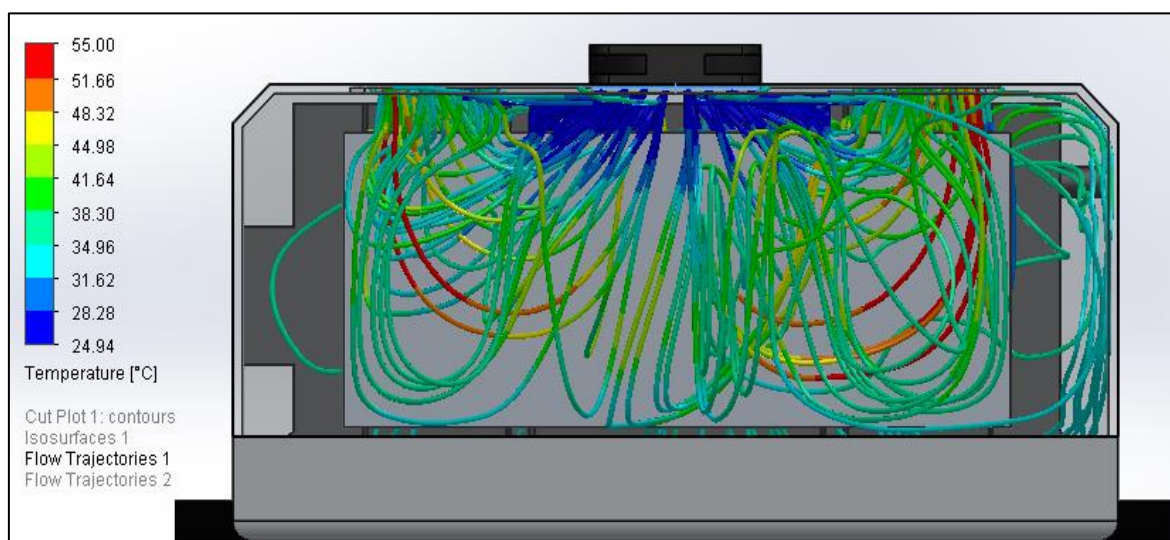


Figura 3.17 Trayectoria del flujo de aire

El resultado obtenido en la Figura 3.17 muestra la trayectoria y temperatura del flujo de aire, como se puede observar el aire que ingresa por los ventiladores entra a temperatura ambiente

y procede a disipar el calor generado dentro del pack de batería provocando que este sea evacuado por las rejillas de ventilación. En la trayectoria del flujo de aire no existe retorno de aire caliente y en su mayor parte se logra disipar el calor.

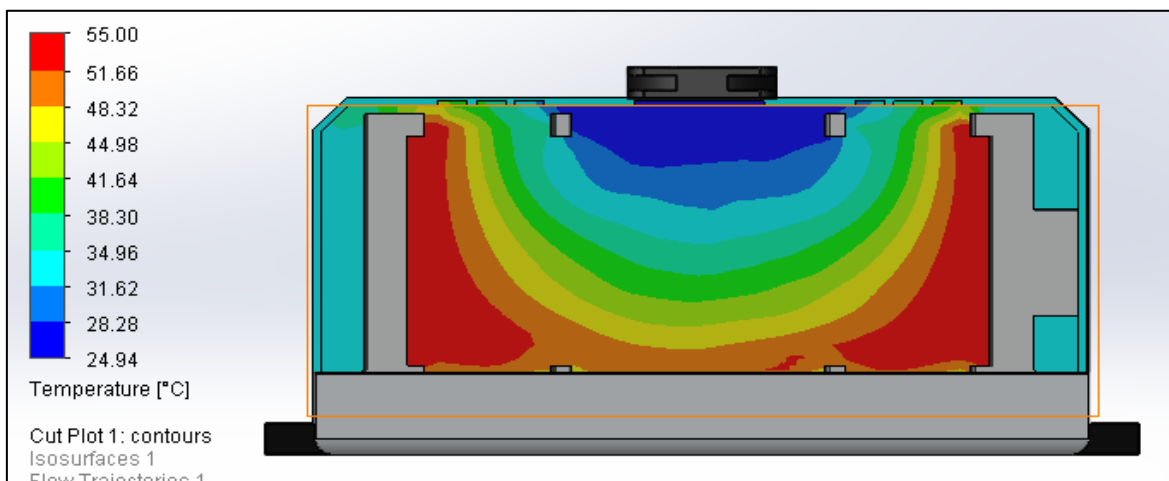


Figura 3.18 Dinámica de la disipación de calor en el sólido

En la Figura 3.18 se puede apreciar el proceso de refrigeración que existe en el sólido ya que el ingreso de aire a temperatura ambiente procede a disipar el calor que se encuentra generado a las celdas del pack de batería. Mediante la interpretación de colores se puede apreciar que la disipación de temperatura se realiza de una manera correcta, esto se debe a que el ingreso del aire frío provoca que la alta temperatura del sólido disminuya.

A medida que ingresa el aire a temperatura ambiente, dentro del pack de baterías este evacua y refrigera las superficies generadoras de calor como es el caso de las celdas de litio. A continuación, se procedió a tomar una gráfica de animación de la disipación de calor en el sólido obteniendo los siguientes resultados.

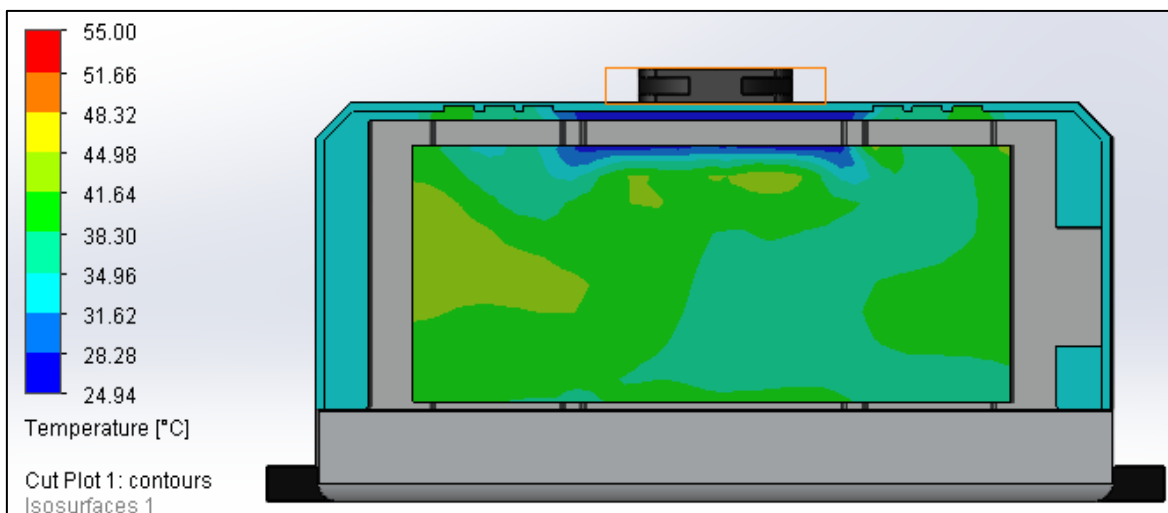


Figura 3.19 Celda de batería refrigerada

La Figura 3.19 presenta la temperatura en la que se encontró las celdas de litio luego de realizar la refrigeración del pack, como se puede observar en la imagen mediante la interpretación de colores la temperatura que alcanza dichas celdas se encuentra en un rango alrededor de 40 °C.

La Tabla 3.10 indica el resultado arrojado por el software de simulación en donde cuantifica los rangos de temperatura que se encontraron en el sólido y el fluido.

Tabla 3.10 Resultados de refrigeración

PARÁMETRO	MÍNIMO [°C]	MÁXIMO [°C]	PROMEDIO [°C]	ÁREA DE SUPERFICIE [M ²]
Temperatura (Fluido)	28,5247054	54,890883	46,0890708	0,375939655
Temperatura (Sólido)	39,3267365	55,333730	47,1633683	0,375922151

Fuente: (Autores)

3.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Luego de haber realizado las simulaciones pertinentes mediante técnicas de análisis computacional referente a la refrigeración y disipación de calor se procedió a realizar una comparación de resultados, esto con el fin de tener certeza y conocimiento que el sistema rediseñado cumpla con el propósito de trabajo propuesto.

La respectiva comparación se realizó entre los resultados de las temperaturas obtenidas en la simulación térmica del pack de batería sin rediseño versus la temperatura del pack de batería implementado el sistema de refrigeración. Mediante gráficas y la interpretación de colores se puede realizar una comparación.

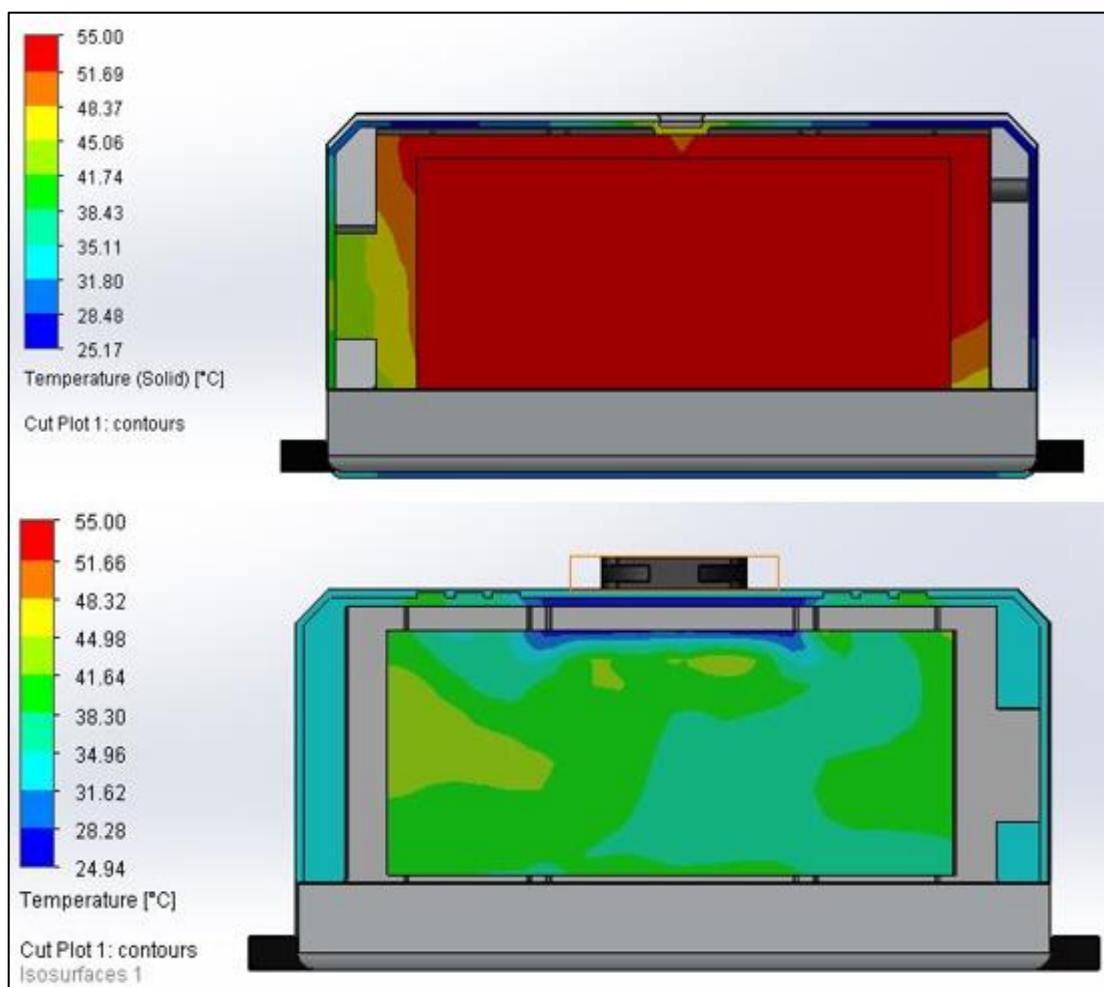


Figura 3.20 Comparación entre la batería sin refrigeración y la batería con refrigeración

En la Figura 3.20 se aprecia en la parte superior la batería sin refrigeración la cual se encuentra con valores altos de temperatura, en la parte inferior se aprecia que con la ayuda de la inducción de aire de refrigeración forzado la batería reduce su temperatura manteniéndole en condiciones de trabajo más favorables.

La Tabla 3.11 muestra los valores de temperatura obtenidos en los resultados de la simulación, el cual se realiza una comparación entre el sistema sin refrigeración y el sistema una vez refrigerado.

Tabla 3.11 Comparación de resultados

PARÁMETRO DEL SÓLIDO	MÍNIMO [°C]	MÁXIMO [°C]	PROMEDIO [°C]	ÁREA DE SUPERFICIE [m ²]
Temperatura sin refrigeración	25	55	40	0,375939655
Temperatura con refrigeración	25	39	32	0,375922151

Fuente: (Autores)

3.7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Previamente realizada las simulaciones pertinentes acerca de la mecánica de fluidos y lo que se refiera a simulación térmica de sólidos con la implementación del sistema de refrigeración propuesto el cual consta de ventiladores que ayudan a la refrigeración esto por medio del empleo de refrigeración por convección de aire forzado, se obtuvo resultados favorables en la reducción de temperatura dentro del pack de baterías.

Se debe tomar en cuenta que la temperatura optima de trabajo para baterías de vehículos eléctricos debe funcionar en un rango no mayor a los 45 °C y tampoco menor a los 5 °C (Sarango, 2018, pág. 3).

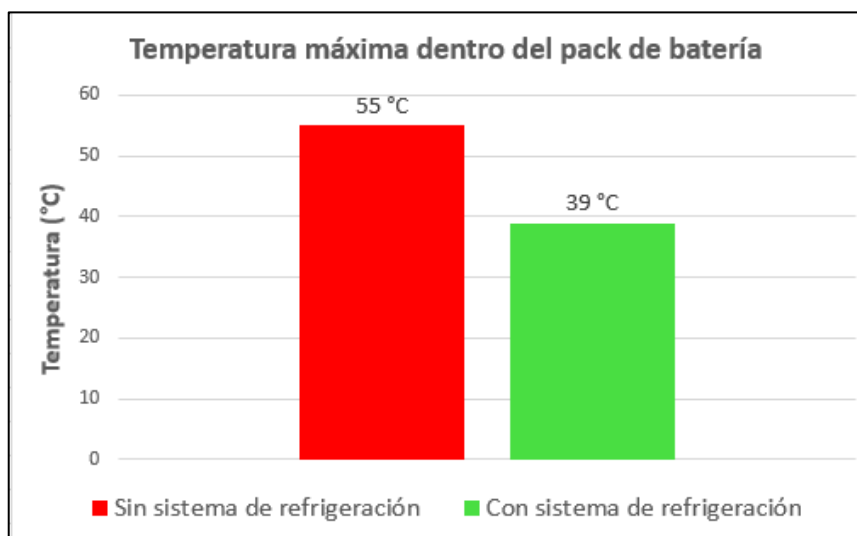


Figura 3.21 Reducción de temperatura

La Figura 3.21 muestra la reducción de temperatura entre la comparación de la batería refrigerada y la batería sin la implementación del sistema de refrigeración.

Como se pudo observar en el punto anterior, los resultados de refrigeración fueron disminuyendo de una temperatura de 55 °C a una temperatura de 39 °C, dando como resultado una reducción de 16 °C, lo que se puede declarar que el sistema de refrigeración cumple con su función de trabajo a la cual fue enfocada.

3.8 EVALUACIÓN DE EFICIENCIA

En el proceso de evaluación final se realiza la comparación de temperatura máxima obtenida en los módulos al momento de realizar la prueba de ruta a velocidad alta que fue diagnosticado con el uso del scanner automotriz versus los resultados térmicos obtenidos de la simulación térmica de refrigeración.

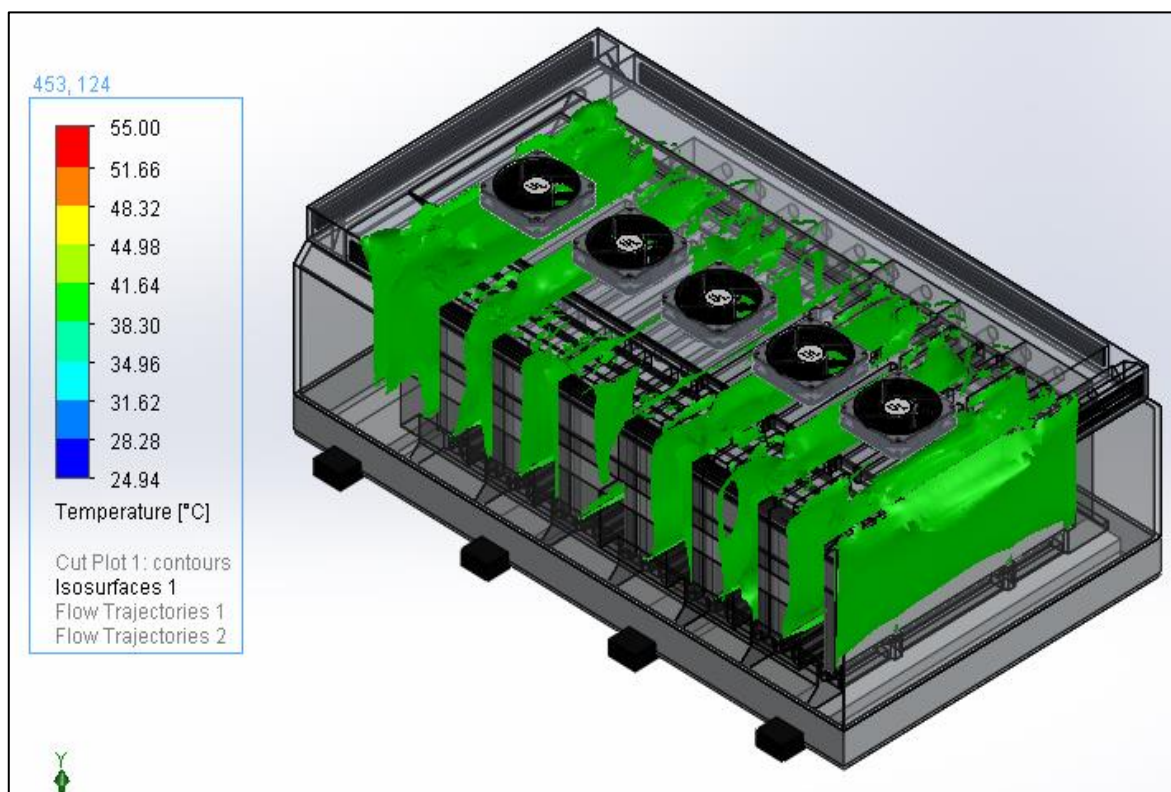


Figura 3.22 Reducción de temperatura superficial

En la Figura 3.22 se puede observar los módulos de batería en un rango de temperatura entre los 38 °C y 41 °C, de manera que la refrigeración se realiza de una forma correcta y garantiza su funcionamiento.

La tabla 3.12 muestra la disminución de temperatura en los módulos que se realizó luego de la implementación del sistema de refrigeración.

Tabla 3.12 Comparación de resultados en cada módulo

MÓDULO	TEMPERATURA SIN REFRIGERACIÓN [°C]	TEMPERATURA CON REFRIGERACIÓN [°C]	DISMINUCIÓN DE TEMPERATURA (%)	ÁREA DE SUPERFICIE [m ²]
Módulo N.º 1	55	39	29,09	0,375939655
Módulo N.º 2	54	38	29,09	0,375922151
Módulo N.º 3	53	37	29,09	0,375939655
Módulo N.º 4	54	38	29,09	0,375922151
Módulo N.º 5	53	37	29,09	0,375939655
Módulo N.º 6	53	37	29,09	0,375922151
Módulo N.º 7	53	37	29,09	0,375939655

Fuente: (Autores)

El resultado del sistema de refrigeración se pudo notar que la reducción de temperatura fue de un total de 16 °C en los módulos esto nos da un porcentaje de reducción de temperatura de un 29% aproximadamente.

3.8.1 DISEÑO DEL PROTECTOR AL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Al diseño final del sistema de refrigeración se realizó la implementación de una protección de los puntos de ingreso y salida de flujo de aire, esto con el fin de sellar a la batería ya que sus componentes internos no deben estar expuestos a partículas que dañen o intervengan en su funcionamiento.

El protector que cubrirá los ventiladores y la salida del flujo de aire se realizó de acuerdo con las dimensiones de la batería esto con el propósito de evitar sobredimensionamientos al ensamblado final y ubicación de la batería en el vehículo Renault Twizy.

El diseño de dicho protector consta con 5 respiraderos que se realizó para el ingreso de aire hacia el interior del pack de baterías y 4 rejillas seccionadas de ventilación por las cuales el calor disipado procederá su trayectoria de salida fuera del pack.

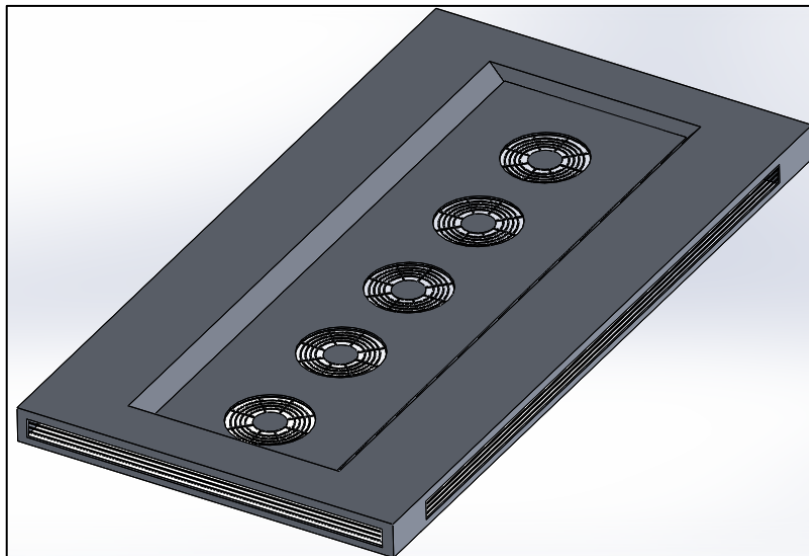


Figura 3.23 Vista superior del protector

La Figura 3.23 muestra las rejillas redondas de ingreso de aire que es tomado por los ventiladores y a los costados las rejillas de disipación.

Para que no exista un retorno de aire caliente hacia el ingreso de aire por parte de los ventiladores el protector diseñado posee una separación de secciones entre el ingreso y salida de aire disipado.

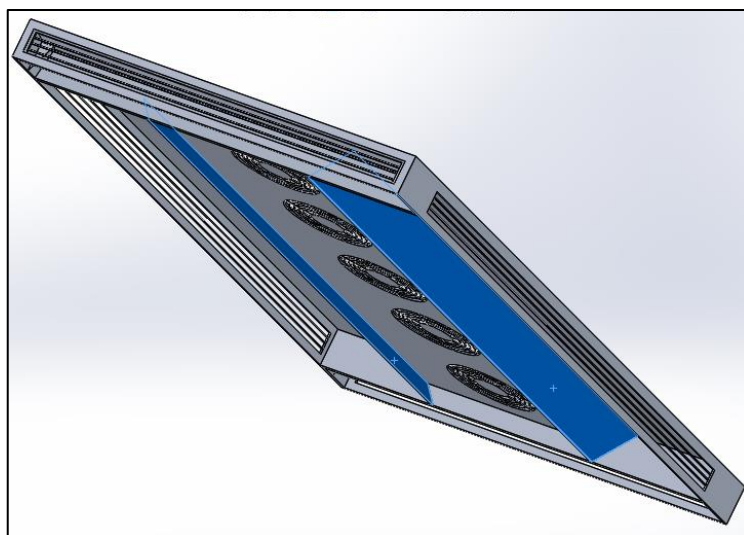


Figura 3.24 Vista interna del protector

La Figura 3.24 se aprecia una vista interna del protector del sistema de refrigeración, los paneles marcados en color azul delimitan las secciones de ingreso y salida de aire, esto para evitar retornos o mezclas de entre el aire frío y caliente.

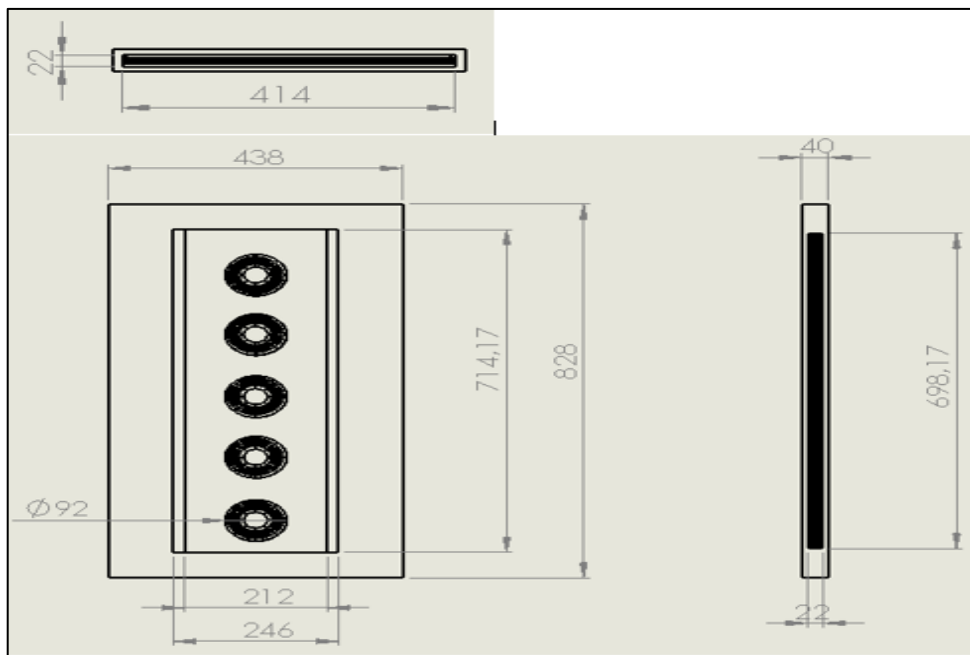


Figura 3.25 Dimensionamiento del protector

La Figura 3.25 se aprecia las vistas frontal, lateral y superior de diseño con las respectivas medidas de dimensionamiento tomadas para la elaboración del protector y cada una de sus rejillas y secciones de ingreso de aire, cabe destacar que el dimensionamiento se realizó en milímetros (mm).

3.8.1.2 Ensamblaje del protector

Luego del diseño del protector se procede a realizar el respectivo ensamblaje sobre la batería, esto con el fin de verificar que el dimensionamiento sea el adecuado y la ubicación de las rejillas de ventilación sean las correctas.

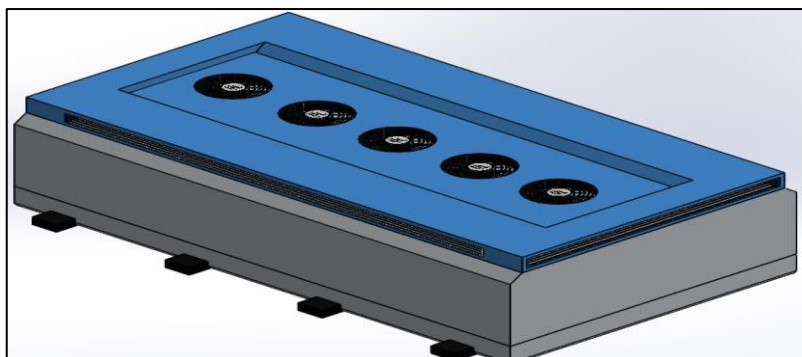


Figura 3.26 Ensamblaje del protector

En la Figura 3.26 se puede observar que la ubicación de las rejillas de ventilación como de ingreso de aire son correctas ya que están colocadas perfectamente sobre cada ventilador.

3.8.2 COSTOS DE IMPLEMENTACION DEL SISTEMA

Los costos del sistema de refrigeración tiene como fin dar conocimiento de la cotización de los trabajos y recursos que serán empleados si se cocirniera la fabricación del sistema propuesto, los costos abarcaron todos los elementos empleados y estudiados para tener el intuición promedio del costo de fabricación.

En la Tabla 3.13 se detalla los precios y cantidad de los elementos empleados que intervienen en la fabricación del sisteme de refrigeración.

Tabla 3.13 Costos de elementos empleados

ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	COSTO TOTAL (\$)
Ventilador Orion	5	15	75
Plancha de tol para el protector	0,45 m ²	10	10
Rele	1	5	5
Cable N 22	8 m	0,45	3,60
Sensor de temperatura	1	12,40	12,40
Potenciometro	1	1,49	1,49
Resistencia	1	0,30	0.30
Transistor NPN	1	0,55	0,55
Caja de circuito	1	2,50	2,50
		TOTAL	110, 84

Fuente: (Autores)

Los precios especificados anteriormente son valores consultados en la Ciudad de Ibarra, Ecuador, los precios pueden variar dependiendo el proveedor y la existencia de stock.

3.8.3 CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

La configuracion del sistema de refrigeracion cuenta con 5 ventiladores los cuales aspiran el aire a temperatura ambiente del interior de la cabina del conductor, mientras que por las rejillas de ventilación saldra el aire caliente en el interior del pack hacia el exterior.

La Tabla 3.14 muestra la configuración designada a cada elemento y abertura realizada en el proceso de diseño del sistema de refrigeración en el cual el aire ingresara o saldra respectivamente.

Tabla 3.14 Configuración empleada

ELEMENTO	DESIGNACIÓN DE TRAYECTORIA DEL AIRE
Ventilador 1	Entrada
Ventilador 2	Entrada
Ventilador 3	Entrada
Ventilador 4	Entrada
Ventilador 5	Entrada
Rejillas de ventilación	Salida
Reducción de temperatura total	16 °C

Fuente: (Autores)

3.8.3.1 Análisis de eficiencia de la configuración del rediseño

Una vez finalizado con el rediseño del sistema de refrigeración se procedió a realizar un análisis cuantitativo del porcentaje de mejora y eficiencia de distintos parámetros que se describen a continuación:

- **Temperatura máxima:**

Porcentaje de mejora:

$$X = \frac{T2 * 100}{T1}$$

Donde:

T1: temperatura máxima del sistema original

T2: temperatura máxima del rediseño

Entonces:

$$X = \frac{39 * 100}{55} - 100$$

$$X = -29,1 \%$$

- **Temperatura promedio:**

$$T1m = \frac{T1 \text{ max} + T1 \text{ min}}{2}$$

$$T1m = \frac{55 + 25}{2}$$

$$T1m = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T2m = \frac{T2 \text{ max} + T2 \text{ min}}{2}$$

$$T1m = \frac{39 + 25}{2}$$

$$T1m = 32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Porcentaje de mejora

$$X = \frac{T2m * 100}{T1m} - 100$$

$$X = \frac{32 * 100}{40} - 100$$

$$X = -20 \%$$

- **Caudal volumétrico:**

El caudal volumétrico o tasa de flujo de aire nos indica cuanto aire va a ingresar a la batería por unidad de tiempo.

Entonces de acuerdo con el ventilador seleccionado y a las características dadas por el fabricante que:

Q : caudal volumétrico va a ser de 32 CFM (pies cúbicos por minuto)

Así que transformando a unidades del sistema internacional (S.I) tendríamos:

$$Q = 32 \frac{ft^3}{min} \left(\frac{0.02831m^3}{1ft^3} \right) \left(\frac{1 min}{60 s} \right)$$

$$Q = 0,01 \frac{m^3}{s}$$

Entonces tendremos que cada ventilador moverá 0.01 metros cúbicos por segundo de aire, ahora al tener dentro del sistema de refrigeración 5 ventiladores tendremos un caudal volumétrico de:

$$Q = \left(0,01 \frac{m^3}{s} \right) \times 5$$

$$Q = 0,075 \frac{m^3}{s}$$

- **Tasa de descarga**

Considerando un consumo medio a 25 °C de 6.1 kWh por cada 100 km se logra obtener un rango estimado de 95 a 100 km, así mismo considerando

- **Tasa de descarga prueba de ruta**

Variación de temperatura

T inicial= 25 °C

T final= 55 °C

$$\Delta T = 55^\circ C - 25^\circ C$$

$$\Delta T = 30^\circ C$$

La temperatura subió 30°C en 57 min, por ende, la temperatura subió a razón de:

$$\alpha = \frac{30^\circ C}{57 min}$$

$$\alpha = 0,52^\circ C/min$$

Como resultado nos da que la temperatura subió 0.52 grados centígrados por cada minuto de funcionamiento.

- **Porcentaje de descarga**

Q (%) inicial: 100 %

Q (%) final: 9 %

$$\Delta Q (\%) = 100\% - 9\%$$

$$\Delta Q (\%) = 91\%$$

El porcentaje de carga disminuyo 91% durante 57min de prueba por lo tanto el porcentaje de carga disminuyo a razón de 1.59 % por minuto.

Entonces se tiene que a 55°C la batería disminuye su carga a razón de 1.59 % así que la razón de descarga por cada grado que varía la temperatura será de:

$$\begin{array}{cc} 55^{\circ}\text{C} & 1.59 \\ & 1 \quad X \\ X = \frac{1,59}{55} = 0,028\% \end{array}$$

Es decir, la batería variara su porcentaje de descarga a razón de 0,028%/min por cada grado que aumente la temperatura.

Entonces considerando que con la aplicación del rediseño la batería trabajará a una temperatura máxima de 39 °C la tasa de descarga será de:

Tasa de descarga= índice de descarga x temperatura

$$Tasa\ de\ descarga = 0.028 * 39$$

$$Tasa\ de\ descarga = 1,09 \%$$

La Tabla 3.15 muestra la comparación de valores del sistema original con la del rediseño, en la que describe el porcentaje de eficiencia obtenido en diferentes parámetros.

Tabla 3.15 Comparación de eficiencia

	Sistema original	Rediseño	% de mejora
Temperatura máxima	55 °C	39 °C	-29,1 %
Temperatura mínima	25 °C	25 °C	0 %
Temperatura promedio	40 °C	32 °C	-20 %
Caudal volumétrico	$0.053 \frac{m^3}{s}$	$0.075 \frac{m^3}{s}$	41%
Porcentaje descarga a T máx.	1.69 /min	1.09/min	-35,5%
Tiempo de descarga (100% - 0 %)	59.17 min	91.74 min	55,04%
Autonomía (Km)	78.89 km	100.32 km	22,05%

Para finalizar una vez realizado los análisis pertinentes se procedió al ensamblaje de los componentes y subcomponentes de la batería en su respectivo lugar sobre el chasis del vehículo Renault Twizy.

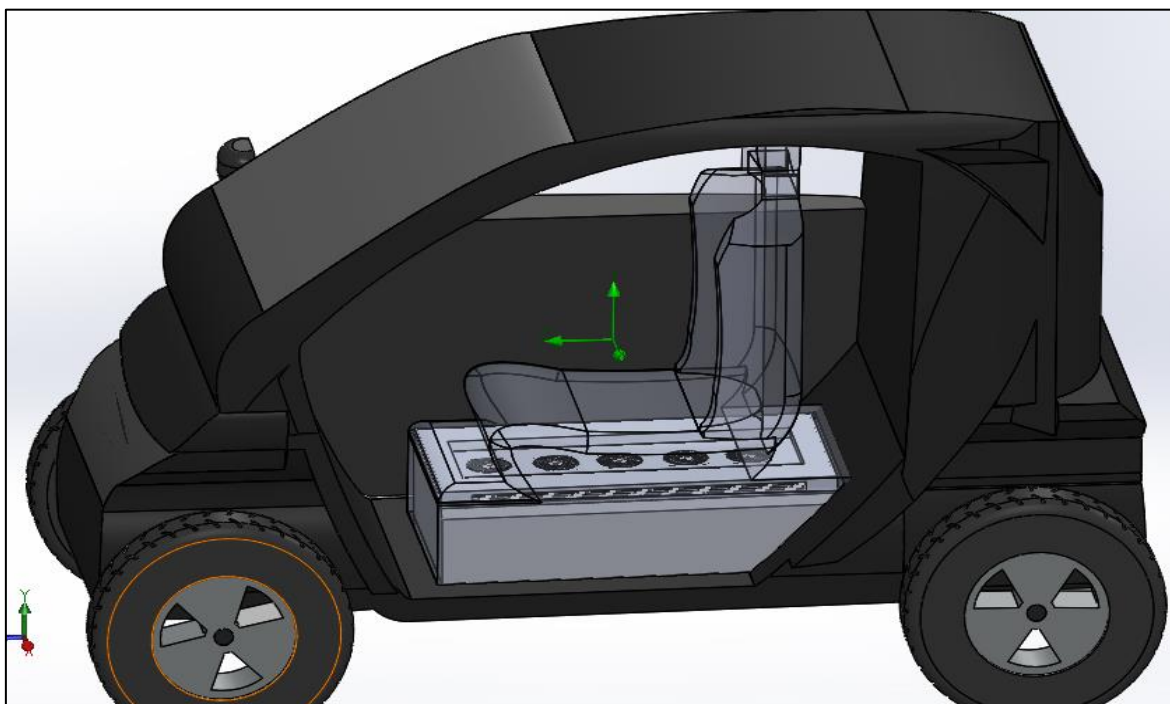


Figura 3.27 Ensamblaje final

La Figura 3.27 muestra la batería alojada en su respectiva ubicación, se puede observar que tanto los ventiladores como el protector no realizan un sobre dimensionamiento, debido a que existe espacio suficiente bajo el asiento y la altura de los ventiladores como del protector no excede los 5 cm de alto.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Se determinó que la refrigeración por aire pasivo que está implementado en el vehículo Renault Twizy no cumple con su misión de refrigerar a la batería, ya que esta al ser sometida a parámetros de funcionamiento exigido no controla su alza de temperatura dentro del pack de batería, lo que provoca la disminución de su autonomía de 100 km a 75 km reduciéndose está en un 25%.

La caracterización por medio de la utilización del software de simulación térmica, también como de mecánica de fluidos permitió dimensionar y replicar el comportamiento térmico alcanzado de 55 ° C dentro del pack de batería que se obtuvo en la prueba de ruta, donde se logró identificar las zonas críticas que requería realizar la refrigeración tanto como el proceso de desarrollo del rediseño, para de esta manera conseguir temperaturas menores a 45 ° C, que es el rango óptimo de temperatura para el funcionamiento de una batería de tracción.

Con los valores obtenidos tanto de la prueba de ruta como de la simulación del rediseño se realizó una comparación de resultados, la cual verificó que la configuración del rediseño del sistema de refrigeración de batería por medio de convección de aire forzado propuesto en el proyecto alcanzó la disminución de 55°C a 39°C, esto quiere decir que se logró una reducción de temperatura alrededor de un 29 % garantizando así alcanzar la autonomía de fabricación de la batería.

Se deduce a través del análisis de eficiencia teórico que, si se llegase a promover la fabricación del sistema propuesto de refrigeración, la reducción de temperatura dentro del pack de baterías mejora la vida útil de la batería y la autonomía del vehículo, ya que esta se aumentaría en un 22% con respecto a la autonomía de obtenida en la prueba de ruta, llegando a alcanzar un valor de 100 km por cada ciclo de carga de la batería dependientemente de las condiciones de uso.

4.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda la implementación de un sistema de refrigeración por aire forzado y no un sistema de refrigeración por fluido incompresible ya que el diseño plano de las celdas del módulo del pack de batería no permitirían una refrigeración homogénea.

Para la fabricación del sistema de refrigeración propuesto en este proyecto se recomienda la utilización de electroventiladores que no excedan los 0.30 Amperios de consumo, ya que para su activación toma la tensión de la batería de bajo voltaje y someter a un consumo excesivo de tensión puede llegar a descargar la batería, a su vez se recomienda realizar la conexión de los ventiladores en un circuito paralelo esto con el fin de que si un ventilador deje de trabajar este no afecte al funcionamiento de los demás electroventiladores.

Lo que se refiere al circuito de activación y desactivación de los electroventiladores de preferencia se sugiere sea calibrado en un rango de 40° C a 30° C, esto por seguridad y con la finalidad que los ventiladores empiecen a refrigerar a la batería antes de que esta llegue a su temperatura de 45° C trabajo que es lo máximo recomendado.

Se recomienda el desarrollo de un sistema de filtración y secado del aire en la implementación del sistema de refrigeración propuesto, para evitar el ingreso de impurezas o humedad que podrían interferir y dañar los componentes internos del pack de batería.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aláez Aller, R. (2010). “Del motor de combustión interna al vehículo eléctrico: Cuatro alternativas técnicas.” *Economía Industrial* (377):95–108.
2. Alarcón, J, and Tirado, E. (2018). “Diseño y construcción del sistema de refrigeración de un vehículo de competencia formula SAE eléctrico.” Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca, Ecuador.
3. Barrera, O, and Ros, J. (2017). “Vehículos Eléctricos e Híbridos.” Madrid, España :Paraninfo
4. Bower, George. (06 de 08 del 2018). “Tesla Model 3 Battery Cooling Much-Improved ... Track Mode.” *INSIDEEVs*. Recuperado en <https://insideevs.com/news/338711/tesla-model-3-battery-cooling-much-improved-track-mode/>.
5. Bustamante, E. y Reibán, G. (2020). “Estudio de factibilidad Técnico-Económica del diseño e implementación de un banco de baterías para un Vehículo Híbrido.” Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
6. Camaraza, Y. (2018). "Transferencia de calor por conducción".España: Editorial Académica Española
7. Chan, C. (2007). “The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles.” doi: 10.1109/5.98987390:2. (EPN, 2022, pág.1)
8. Chan, C. y Chau, K (2017). “An Overview of Power Electronics in Electric Vehicles.”
9. García, G. (2017). “Fallas en el electroventilador.” Prueba de Ruta. Obtenido de <https://www.pruebaderuta.com/fallas-en-el-electroventilador.php> (Junio, 2022).
10. García, G. (2019)a. “Enfriamiento termoeléctrico, el siguiente paso en la Gestión térmica de las baterías.” *Híbridos y eléctricos ecotecnología del vehículo*. Recuperado: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/enfriamiento-termoelectrico-siguiente-paso-gestion-termicabaterias/20191213115053032098.html> (Septiembre 2021).

11. García, G. (2019)b. “Larga Vida a las baterías de litio para los coches eléctricos.” Híbridos y eléctricos ecotecnología del vehículo. obtenido de <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/larga-vida-baterias-litio-coches-electricos/20190405135456026802.html>. (Junio 2022).
12. García, G. (2019) c. “Un fluido dieléctrico aumenta la velocidad de carga y la vida útil de las baterías.” Híbridos y eléctricos ecotecnología del vehículo. Obtenido de <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/refrigeracion-bateria-fluido-dielectrico-aumenta-velocidad-carga-vida-util/20190731201336029385.html> (Junio 2022).
13. García, M. y Moreno. (2016). “Respuesta a la demanda para smart home utilizando procesos estocásticos.” *I+D Tecnológico*,: pag.12.
14. García, M. (2015). “Pasado, presente y futuro de vehiculos electricos.” Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda, Colombia.
15. Gregorio, D. y Sancan, C. (2017). “Vehículos híbridos , una solución interina para bajar los niveles de contaminación del medio ambiente causados por las emisiones provenientes de los motores de combustión interna .” 2(12):pág.1–10.
16. Helmers, E. (2014). “Electric Cars : Technical characteristics and environmental Impacts.” (Julio 2022):8. doi: 10.1186/2190-4715-24-14.
17. Insertadas, C. , Espirales, De Oriente, and Stephen W. (2016). “Hydrodynamic analysis of a turbulent flow in an annular space.”
18. Kuo, J., y Garfinkel., G (2017). “A segregated thermal analysis method for liquid-cooled traction batteries.” *SAE Tech* (Marzo 2022).
19. Lara, G. (2013). “Cómo Funciona Una Batería.” Motorpasión. obtenido de <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/como-funciona-una-bateria> (Junio 2021).
20. De las Heras, S. (2012). "Mecánica de fluidos en ingeniería".Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.(EPN pag, 13)
21. Leng, Cher Ming, Pecht, y Zhang, J. (2018). “The Effect of Temperature on the Electrochemistry in Lithium-Ion Batteries.” (EPN 2021,pag, 5–8).

22. Lovesharing. (2020). "Tipos de batería de un coche eléctrico." obtenido de <https://www.lovesharing.com/tipos-de-bateria-de-un-coche-electrico/> (Agosto, 2022).
23. Martínez, J. (2017). "Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas." Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, España.
24. Medina, J. (2010). "La dieta del dióxido de carbono (CO2)." *Conciencia Tecnológica* Instituto tecnológico de Aguascalientes, México.39:50–53.
25. Meza, J, y García Torres, E. 2018. "Asignación de recursos para la recarga de Vehículos eléctricos en estaciones de servicios basado en la respuesta a la demanda." *I+D Tecnológico* 14(2):66–73. doi: 10.33412/idt.v14.2.2075.
26. Montes Pita, M. (2016). "Teoría y problemas de transmisión de calor". - Universidad Nacional de Educación a Distancia, España: UNED
27. Moreno, Francisco. 2016. "Vehículos eléctricos . Historia , Estado Actual Y Retos Futuros." 7881(May):118–31.
28. Murias, D. (2018). "Los motores son también clave en el desarrollo del coche eléctrico: No todo es cuestión de baterías." *Motorpasión*. obtenido de <https://www.motorpasion.com/tecnologia/los-motores-son-tambien-clave-en-el-desarrollo-del-coche-electrico-no-todo-es-cuestion-de-baterias.>(Agosto 2021).
29. Neubauer, S., Wood, y Pesaran, A. (2015). "A second life for electric vehicle batteries: answering questions on battery degradation y value." *SAE International Journal of Materials and Manufacturing* 8(2):21–23. doi: 10.4271/2015-01-1306.
30. Nieto, O. (2021). "Sistema de refrigeración, cómo funciona." obtenido de <https://el-blog-del-taller-mecanico.rexpert.es/blog/tecnologia/sistema-de-refrigeracion-como-funciona/> (Junio 23, 2021)
31. Novillo, G, Córdor, J y P Tacle. (2015). Diseño de un sistema de generación de chorro de agua de flujo laminar iluminado, *Ingeniería mecánica*, volumen 18 (3) (EPN, pag.18)

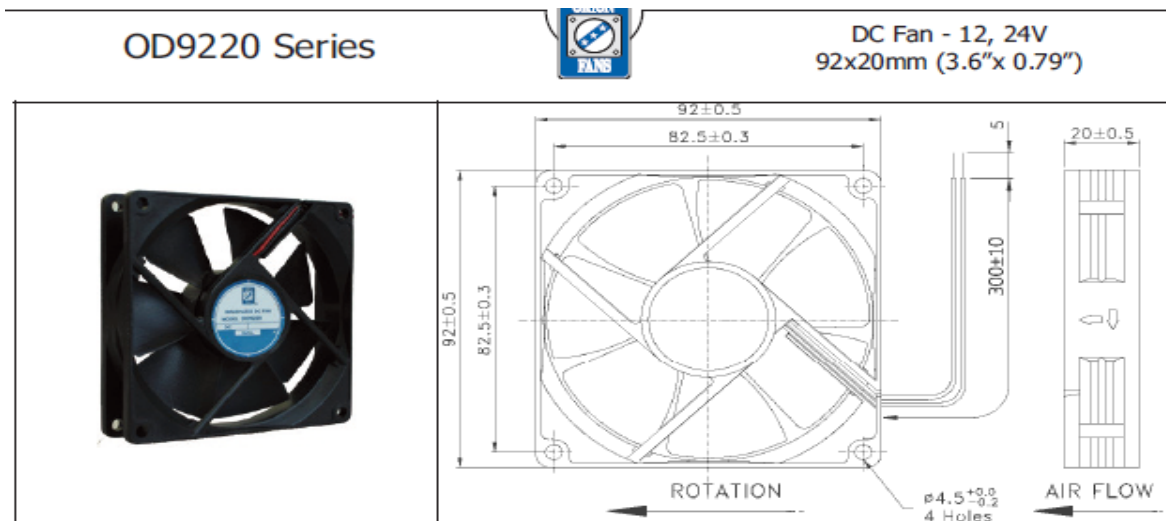
32. Pardo, C. (2021). "Sensor de Temperatura." obtenido de <https://www.picuino.com/es/arduprog/sensor-temp.html> (Agosto, 2022)
33. Pástor, J, y Velasco, L. (2015). "Reutilización de baterías de vehículos híbridos para el consumo alternativo; como energía de emergencia en viviendas de bajo consumo energético, recargadas mediante aneles solares." Universidad Interacional del Ecuador, Quito, Ecuador.
34. Power, G. (2019). "El calentamiento global y las emisiones de carbono." 27:24.
35. Race. (2019). "Cómo Son Las Baterías de Los Coches Eléctricos." obtenido de <https://www.race.es/como-son-baterias-coches-electricos> (Agosto 2022).
36. Ramos, C. (2017). "Análisis de un convertidor DC/DC destinado al almacenamiento híbrido de energía."obtenido https://oa.upm.es/48060/1/tfg_cristina_ramos_flores.pdf (Mayo 2021)
37. Renault. (2012). "Manual de servicio Renault Twizy." (EPN 2022 pag 11,18).
38. Sarango, E. (2018). "Baterías y refrigeración de baterias en vehículos eléctricos." Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
39. Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo(Samplades). (2017). "Plan nacional de desarrollo 2017-2021. Toda Una Vida." Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (EPN 2021, pag.1–148).
40. Solidworks. 2022. "SOLIDWORKS Flow Simulation." obtenido de <https://www.solidworks.com/es/product/solidworks-flow-simulation> (Agosto 2022).
41. Torres, L. (2018). "Estimación experimental de la rugosidad y del factor de fricción en una tubería." (Octubre 2022).
42. Vepachedu, S. (2017). "The Andhra Journal of Industrial News." Vepachedu Educational foundation inc (Septiembre 2022).

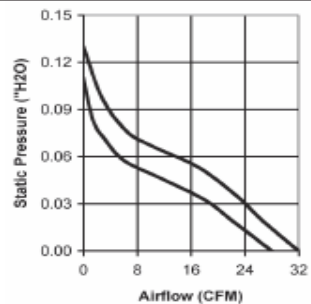
ANEXOS

ANEXO I

FICHA TÉCNICA DEL VENTILADOR

Figura I.1 Ficha técnica Ventilador ORION



Frame & Impeller	PBT, UL94V-0 plastic	<u>Available Options</u>	
Connection	2x Lead wires 24AWG	Tachometer - Open Collector Locked Rotor Alarm	
Motor	Brushless DC, auto restart, polarity protected	Weight: ~0.19 lbs	
Bearing System	Dual ball bearing	<u>Life Expectancy (L10)</u> 65,000 hours (45C)	
Insulation Resistance	10M ohm between leadwire and frame (500VDC)		
Dielectric Strength	1 minute at 500 VAC, max leakage < 500 MicroAmp		
Temperature Range	-10C ~ 70C		
Storage Temperature	-40C ~ +80C	m1	

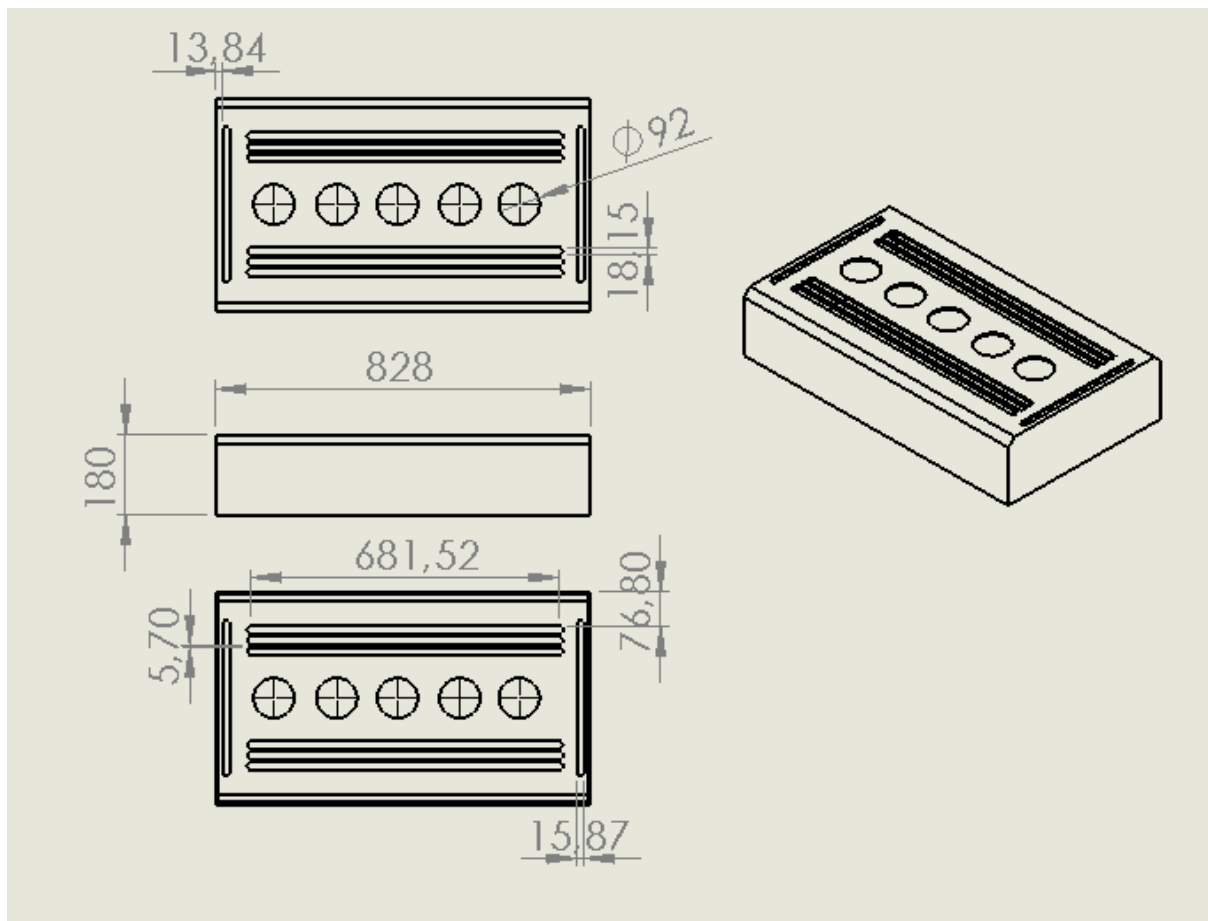
Model Number	Speed (RPM)	Airflow (CFM)	Noise (dB)	Volts DC	Input Power (Watts)	Rated Current (Amps)	Max. Static Pressure (H ₂ O)
OD9220-12H*	2700	32	36.7	12	8~16	0.25	0.13
OD9220-12M*	2400	28	31	12	8~16	0.16	0.11
OD9220-24H*	2700	32	36.7	24	22~28	0.14	0.13
OD9220-24M*	2400	28	31	24	22~28	0.12	0.11

* Indicate "B" to specify Ball bearing or "S" to specify Sleeve bearing

ANEXO II

DIMENSIONAMIENTO DE LA TAPA DE BATERIA

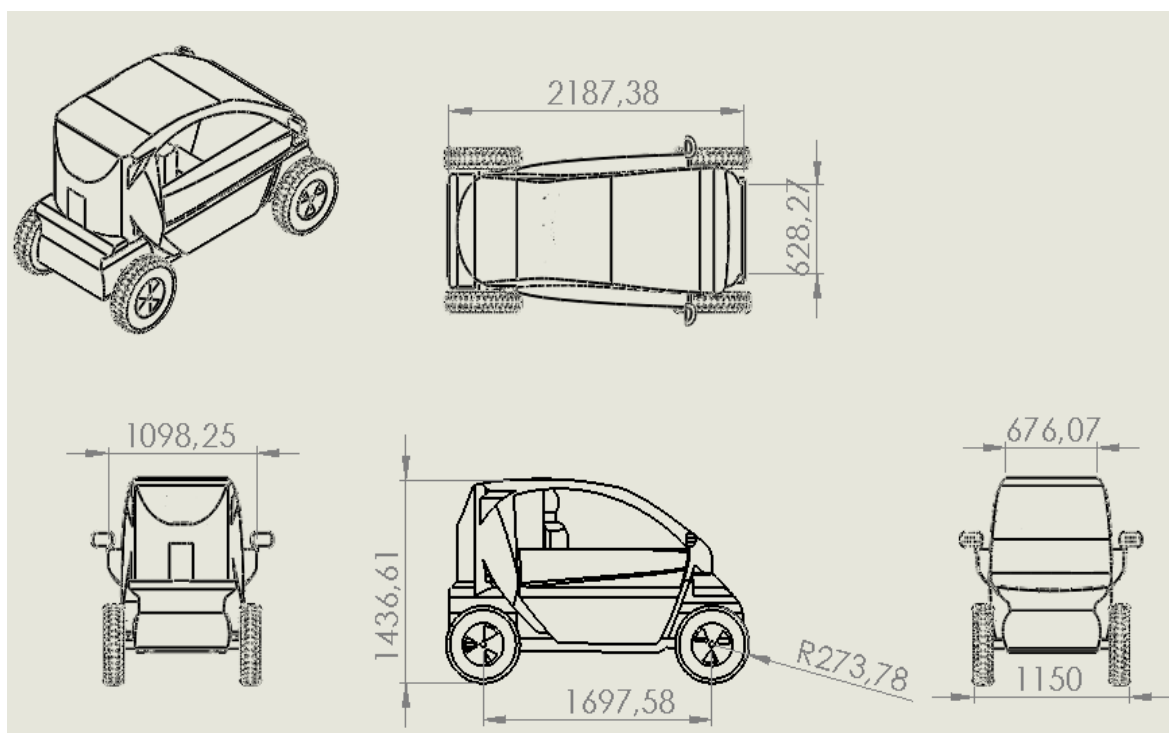
Figura II.1 Vistas y dimensionamiento de la tapa de batería modificada (mm)



ANEXO III

VISTA Y DIMENSIONAMIENTO DEL VEHICULO RENAULT TWIZY

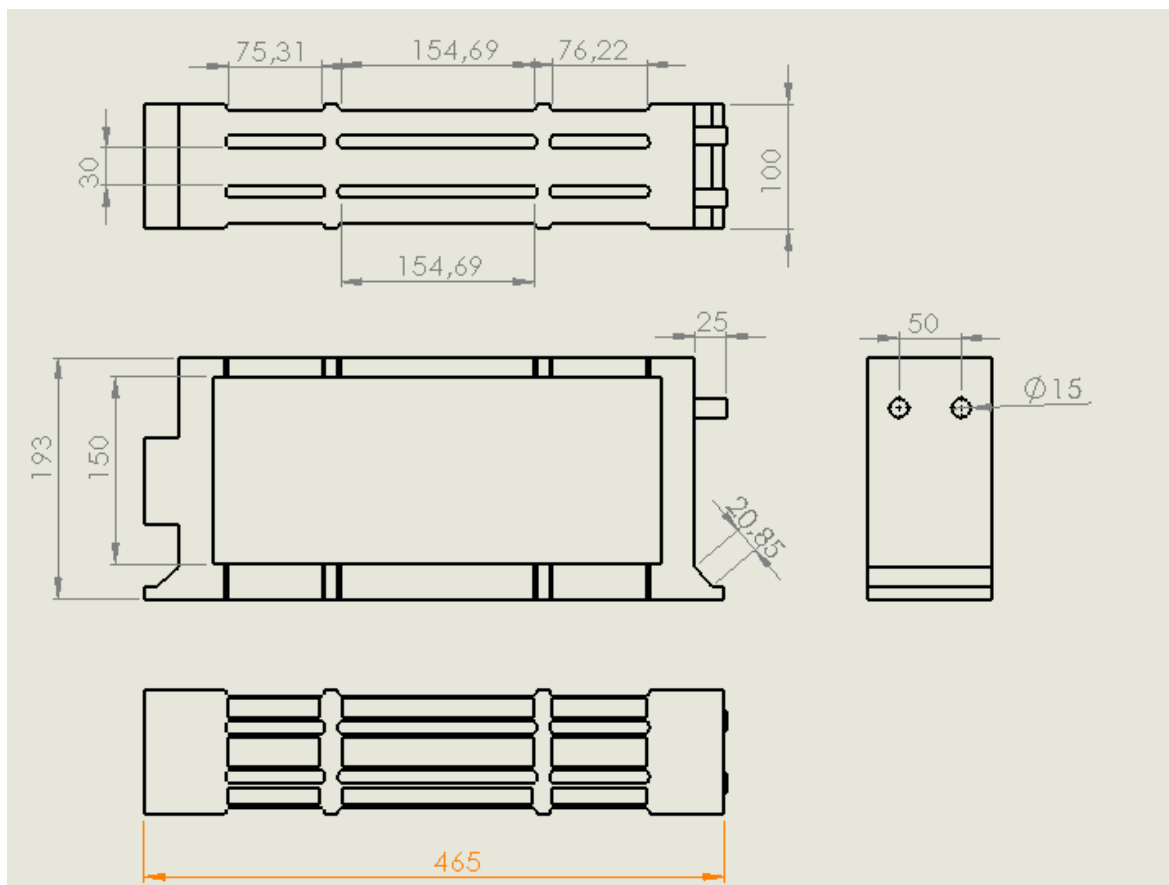
Figura III.1 Vistas y dimensionamiento Renault Twizy (mm)



ANEXO IV

DIMENSIONAMIENTO DEL MÓDULO DE BATERÍA

Figura IV.1 Vistas y dimensionamiento del módulo de batería (mm)



ANEXO V

SIMULACIÓN TÉRMICA DE SUPERFICIES

Figura V.1 Temperaturas dentro de la batería

