

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTO DE INGENIERÍA

THERMAL OPTIMIZATION OF BATTERIES FSAE 2024

ALUMNOS JUAN ANTONIO VEGA Y GEHOVANY MARIPI

DOCENTE IVÁN POLANCO



Índice

Introducción:	4
2.0 Alcances y Objetivos:	4
2.1 Alcances.....	4
2.2 Objetivos:	5
3. Condiciones del Lugar:.....	5
3.1 Descripción del Entorno:	5
3.2 Variables Ambientales y Operativas	6
4.0 Normas Referenciales.....	6
4.1 Normativas de Competición Formula SAE.....	7
4.2 Normas y Estándares Técnicos.....	7
4.3 Normas para Simulación y Modelado.....	7
5. Cálculos.....	8
Solución del problema a través del método de elementos finitos y Ansys.....	12
Análisis de flujo alrededor de las baterías.....	19
Calculo para la disipación de calor del banco de baterías.....	22
Análisis de la transferencia de calor	23
Análisis y Consideraciones Detalladas	25
1. Estrategia de Refrigeración.....	25
2. Mecanismo de Convección Forzada	25
3. Análisis de Transferencia de Calor	25
4. Caudal de Aire y Selección del Ventilador:	26
5. Dimensionamiento del Ventilador	26
Conclusiones.	42
Referencias.....	43



Tabla de Ilustraciones

<i>Ilustración 1 Dinámica</i>	9
<i>Ilustración 2 Parámetros</i>	10
<i>Ilustración 3 Curva de Corriente</i>	11
<i>Ilustración 4 Curva de disipación de calor</i>	11
<i>Ilustración 5 Geometría pack de baterías 24s1p</i>	13
<i>Ilustración 6 Discretización dominio pack de baterías</i>	14
<i>Ilustración 7 Métricas de calidad del mallado</i>	14
<i>Ilustración 8 Setup modelo baterías MSMD</i>	16
<i>Ilustración 9 Propiedades materias de los tabs</i>	16
<i>Ilustración 10 Propiedades material zona activa</i>	17
<i>Ilustración 11 Vista en planta mapa de temperaturas</i>	17
<i>Ilustración 12 Campo de temperaturas vista isométrica</i>	18
<i>Ilustración 13 discretización volumen de control</i>	19
<i>Ilustración 14 campo de velocidades planta</i>	20
<i>Ilustración 15 campo de velocidades isométrica</i>	21
<i>Ilustración 16 Campo de Presiones</i>	21
<i>Ilustración 17 Medidas</i>	23
<i>Ilustración 18 Extractor de aire</i>	25
<i>Ilustración 19 Banco de Baterías</i>	28
<i>Ilustración 20 Campo térmico baterías</i>	29
<i>Ilustración 21 Diseño Refrigeración Propuesto</i>	29
<i>Ilustración 22 Vehículo y Aire circundante</i>	30
<i>Ilustración 23 Campo velocidades ANSY</i>	30
<i>Ilustración 24 Diagrama</i>	31
<i>Ilustración 25 Sensor AMG 8833</i>	33
<i>Ilustración 26 Conjunto Conectado</i>	33
<i>Ilustración 27 Sensor AMG 8833 Conectado</i>	34
<i>Ilustración 28 Ídem</i>	34
<i>Ilustración 29 Interfaz IDE</i>	36
<i>Ilustración 30 Diagrama P&ID Refrigeración baterías FSAE 2024</i>	37
<i>Tabla 1 Características de la Celda</i>	8
<i>Tabla 2 Ecuación lineal</i>	9
<i>Tabla 3 Resultados</i>	12
<i>Tabla 4 Resumen de Costos</i>	39



Introducción:

En el ámbito de la ingeniería automotriz y la competición de vehículos eléctricos, la gestión térmica de las baterías es un factor crítico que influye directamente en el rendimiento, la eficiencia y la seguridad del sistema. En este contexto, el presente estudio aborda la evaluación y optimización del sistema de refrigeración de un banco de baterías específico, tomando como referencia el modelo Emrax 228 y su interacción con el vehículo de competición para la Formula SAE 2024.

La investigación se inicia con un análisis detallado de las características eléctricas de la batería, considerando el efecto Joule como principal mecanismo de generación de calor. Mediante ecuaciones que relacionan la corriente eléctrica con la velocidad y el torque del motor, se calcula la demanda de corriente en cada punto de la pista, permitiendo estimar la generación de calor a lo largo de 22 vueltas.

Posteriormente, se emplea la metodología de elementos finitos y el software ANSYS para realizar un análisis multifísico del sistema de refrigeración. Se discretiza el modelo del pack de baterías Emrax 228, se realizan simulaciones térmicas y se evalúan las condiciones de flujo de aire alrededor del conjunto. La simulación proporciona un mapa detallado de temperaturas, destacando áreas críticas que requieren una atención específica en términos de diseño y gestión térmica.

La calidad excepcional del mallado y la precisión en los resultados demuestran la robustez del enfoque utilizado. A través de la simulación, se identifican áreas propensas al sobrecalentamiento, permitiendo la toma de decisiones informadas para optimizar la configuración del sistema de refrigeración y garantizar el funcionamiento seguro y eficiente del banco de baterías durante la competencia FSAE 2024.

En este contexto, el presente trabajo no solo aborda los aspectos técnicos y de ingeniería, sino que también destaca la importancia de la simulación como herramienta clave en la toma de decisiones para mejorar el rendimiento y la seguridad en vehículos eléctricos de competición.

2.0 Alcances y Objetivos:

2.1 Alcances:

2.1.1 Estudio del Sistema de refrigeración: Este proyecto se enfocará en el sistema de baterías para alimentar los circuitos de un motor Emrax 228 y su integración con un sistema de tracción para un monoplaza para competir en la formula SAE, considerando sus características eléctricas y la generación de calor asociada durante operaciones de competición en vehículos de la Formula SAE 2024.

2.1.2 Análisis de la Generación de Calor: Se llevará a cabo un análisis detallado de la generación de calor en la batería bajo las condiciones de operación que le exige el motor Emrax 228 a lo largo de



22 vueltas en una pista de competición, utilizando la metodología del efecto Joule y las ecuaciones que relacionan la corriente con la dinámica del motor.

2.1.3 Simulación en ANSYS: El estudio se extenderá a la simulación en ANSYS para modelar la distribución térmica del banco de baterías. Se evaluará el impacto de las condiciones de flujo de aire y se identificarán áreas críticas propensas al sobrecalentamiento.

2.1.4 Evaluación de Estrategias de Refrigeración: Se explorarán estrategias de refrigeración para optimizar el rendimiento térmico del banco de baterías. La evaluación incluirá configuraciones de ventiladores, direcciones de flujo de aire y métricas necesarias para el h convectivo.

2.2 Objetivos:

2.2.1 Objetivo General: Evaluar y optimizar la gestión térmica del banco de baterías que se utiliza para alimentar el motor Emrax 228 en vehículos de la Formula SAE 2024 mediante el análisis de la generación de calor, simulaciones en ANSYS y la propuesta de estrategias de refrigeración.

2.2.2 Objetivos Específicos:

- a. Analizar las características eléctricas de la batería y su impacto en la generación de calor durante operaciones de competición.
- b. Calcular la demanda de corriente en cada punto de una vuelta en la pista mediante las ecuaciones que relacionan la velocidad del motor y el torque.
- c. Realizar simulaciones en ANSYS para modelar la distribución térmica del banco de baterías, identificando áreas críticas y evaluando el impacto de las condiciones de flujo de aire.
- d. Proponer estrategias de refrigeración, incluyendo configuraciones de ventiladores y direcciones de flujo, para optimizar el rendimiento térmico del sistema.
- e. Validar la efectividad de las estrategias propuestas mediante análisis comparativos y proponer ajustes si es necesario.
- f. Generar conclusiones provisionales que aporten a la comprensión de la gestión térmica en sistemas de baterías para vehículos de competición eléctricos.

3. Condiciones del Lugar:

3.1 Descripción del Entorno:

3.1.1 Circuito de Competición Formula SAE 2024: La investigación se desarrollará en el contexto de las competencias automovilísticas de Formula SAE 2024. El circuito de competición, diseñado para pruebas de vehículos eléctricos de alta eficiencia y rendimiento, proporcionará el entorno realista

necesario para evaluar la gestión térmica del banco de baterías Emrax 228 en condiciones de operación extremas.

3.1.2 Instalaciones de Laboratorio y Simulación: Se utilizarán instalaciones de laboratorio equipadas con herramientas de medición y simulación, permitiendo la realización de pruebas específicas, la captura de datos en tiempo real y la simulación de condiciones de competición. Estas instalaciones proporcionarán el entorno controlado necesario para llevar a cabo las simulaciones en ANSYS y validar los resultados obtenidos.

3.2 Variables Ambientales y Operativas:

3.2.1 Variabilidad Climática: Se considerará la variabilidad climática propia de la región donde se lleven a cabo las competencias Formula SAE 2024. Las condiciones climáticas, como la temperatura ambiente y la humedad, tendrán un impacto directo en la generación de calor y, por ende, en la gestión térmica de las baterías.

3.2.2 Condiciones de Competición en Pista: Las condiciones dinámicas del circuito, incluyendo la velocidad del vehículo, los cambios de elevación y las curvas pronunciadas, influirán en la demanda de corriente y, por consiguiente, en la generación de calor. La topografía de la pista se considerará al analizar la distribución térmica del banco de baterías.

3.2.3 Variabilidad en la Descarga de Corriente: Se tendrá en cuenta la variabilidad en la descarga de corriente durante el ciclo de competición. Esta variabilidad está asociada a la dinámica de conducción, aceleración y desaceleración del vehículo eléctrico, lo que impactará en la generación de calor en diferentes puntos de la pista.

3.3 Infraestructura de Soporte:

3.3.1 Sistemas de Monitoreo y Adquisición de Datos: Se implementarán sistemas de monitoreo y adquisición de datos para registrar las variables clave durante las pruebas en pista y las simulaciones en laboratorio. Estos sistemas proporcionarán datos precisos sobre la temperatura de la batería, la corriente eléctrica, la velocidad del vehículo y otros parámetros relevantes.

3.3.2 Equipamiento para Simulaciones en ANSYS: El laboratorio estará equipado con hardware y software necesario para llevar a cabo las simulaciones en ANSYS. Se utilizarán estaciones de trabajo avanzadas y licencias adecuadas para realizar análisis térmicos detallados y modelar el comportamiento del sistema Emrax 228 bajo diferentes condiciones.

Estas condiciones del lugar ofrecen un entorno completo y representativo para llevar a cabo la investigación, permitiendo la evaluación práctica y teórica de la gestión térmica en el banco de baterías Emrax 228 en condiciones de competición realistas y variadas.

4.0 Normas Referenciales:



4.1 Normativas de Competición Formula SAE:

4.1.1 SAE International Standards: La investigación se regirá por las normativas establecidas por SAE International para competencias Formula SAE. Se seguirán las directrices específicas para vehículos eléctricos, asegurando el cumplimiento de estándares de seguridad, eficiencia y rendimiento.

4.1.2 Reglamento Técnico de la Competición: Se consultará y aplicará el reglamento técnico de la competición Formula SAE 2024, proporcionado por la organización correspondiente. Este documento contendrá las especificaciones detalladas sobre los requisitos eléctricos, térmicos y de rendimiento que guiarán el diseño y la evaluación del sistema Emrax 228.

4.2 Normas y Estándares Técnicos:

4.2.1 IEEE Standard 1725-2019: La norma IEEE 1725-2019 sobre baterías recargables para vehículos eléctricos será utilizada como referencia para evaluar la seguridad y el rendimiento de las baterías. Se prestará especial atención a los requisitos de gestión térmica y la evaluación de la temperatura en condiciones operativas.

4.2.2 ISO 26262: La norma ISO 26262 para la seguridad funcional en sistemas eléctricos y electrónicos de vehículos será considerada al analizar la gestión térmica del banco de baterías. Se aplicarán principios de evaluación de riesgos y se diseñarán estrategias de refrigeración que cumplan con los estándares de seguridad.

4.3 Normas para Simulación y Modelado:

4.3.1 ASHRAE Standard 169-2013: La norma ASHRAE Standard 169-2013 establece las condiciones climáticas y las temperaturas exteriores para diferentes regiones geográficas. Esta norma será utilizada como referencia para definir las condiciones ambientales en las simulaciones de ANSYS.

4.3.2 ASTM E1952-17: La norma ASTM E1952-17 especifica métodos para la medición de la resistencia y la conductividad térmicas. Será consultada para garantizar la precisión en la simulación térmica y la validación de los resultados obtenidos en el laboratorio.

Estas normativas referenciales garantizarán la adhesión a estándares reconocidos y la aplicación de buenas prácticas en la investigación. Se buscará cumplir con los requisitos establecidos por SAE International y otras entidades relevantes para asegurar la seguridad y eficiencia del sistema Emrax 228 en competencias de vehículos eléctricos

5. Cálculos.

Para determinar la cantidad de calor generado por la batería, en primera instancia solamente se considerará el efecto Joule como mecanismo general de generación de calor, a continuación, se presentan las características de la celda, asociadas a la generación de calor.

Característica	Valor
Voltaje Nominal	3.7 V
Máxima Corriente de Carga	14.6 A
Pico de Corriente de Carga	28.2 A (≤ 1 sec)
Voltaje de Carga	4.2 V \pm 0.03 V
Máxima Corriente de Descarga	141 A
Pico de Corriente de Descarga	176.25 A
Voltaje de Corte de Descarga	3.0 V
Resistencia Interna (DC)	2.0 m Ω

Tabla 1 Características de la Celda

Para obtener la generación de calor utilizaremos la formula relacionada al efecto Joule, con la cual podremos realizar una estimación de la cantidad de calor que estará generando la batería en términos de la corriente eléctrica que deberá suministrarse al motor para generar una determina cantidad de potencia mecánica.

$$Q = I^2 R$$

Entonces para determinar la cantidad de corriente requerida por el motor EMRAX 228, en carrera tenemos las siguientes ecuaciones que nos relacionan el rpm con el voltaje del motor y la corriente con el torque de este.

1. Relación lineal para el voltaje (V):

$$V = engine_speed \times Kv$$

Esta ecuación muestra la relación lineal entre el voltaje (V) y la velocidad del motor (engine speed/engine speed), Kv es la pendiente de la línea.

2. Relación lineal para la corriente (I):

$$I = torque \times Kt$$

Aquí, la ecuación lineal expresa la relación entre la corriente (I) y el par del motor (torque), con Kt como la pendiente de la línea.



Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Kv	15.53	V/(rad/s)	Constante de voltaje del motor Emrax 228
Kt	0.61	Nm/A	Constante de par del motor Emrax 228
engine_speed		rad/s	Velocidad del motor (a ser proporcionada)
torque		Nm	Par del motor (a ser proporcionado)
voltaje		V	Voltaje aplicado al motor calculado: engine_speed / Kv
corriente		A	Corriente en el motor calculada: torque / Kt

Tabla 2 Ecuación lineal

Estos parámetros y ecuaciones están relacionados con el motor Emrax 228. La constante de voltaje (Kv) representa la relación entre el voltaje aplicado al motor y la velocidad angular del mismo. Mientras que la constante de par (Kt) indica la relación entre el par del motor y la corriente que fluye a través de él.

En función de este análisis y en conjunto con el software optimum lap pudimos obtener la dinámica del vehículo a lo largo de la pista, para cada tiempo en vuelta.

Endurance - Speed



Ilustración 1 Dinámica

Se presentan las características obtenidas del programa.



KPI Description	Endura...
Vehicle	2806
Lap time [s]	58,48
Percent in Corners [%]	76,57
Percent Accelerating [%]	39,55
Percent Braking [%]	56,21
Percent Coasting [%]	0,00
Percent 100% Throttle [%]	18,44
Percent TCS Enabled [%]	69,91
Lowest Speed [km/h]	45,35
Highest Speed [km/h]	125,74
Average Speed [km/h]	73,09
Energy Spent [kJ]	947,36
Fuel Consumption [kg]	9,67
Gear Shifts [-]	0,00
Maximum Lateral Acceleration [m/s ²]	-20,12
Maximum Longitudinal Acceleration [m/s ²]	6,76
Maximum Longitudinal Deceleration [m/s ²]	-26,87
Time in Sector 1 [s]	11,09
Time in Sector 2 [s]	11,23
Time in Sector 3 [s]	11,90
Time in Sector 4 [s]	11,40
Time in Sector 5 [s]	8,45
Time in Sector 6 [s]	4,41
Maximum Speed in Sector 1 [km/h]	109,73
Maximum Speed in Sector 2 [km/h]	125,74
Maximum Speed in Sector 3 [km/h]	96,01
Maximum Speed in Sector 4 [km/h]	95,94
Maximum Speed in Sector 5 [km/h]	106,21

Ilustración 2 Parámetros

En función de estos parámetros y las ecuaciones presentadas anteriormente, se procede a calcular la demanda de corriente en cada punto de la pista.

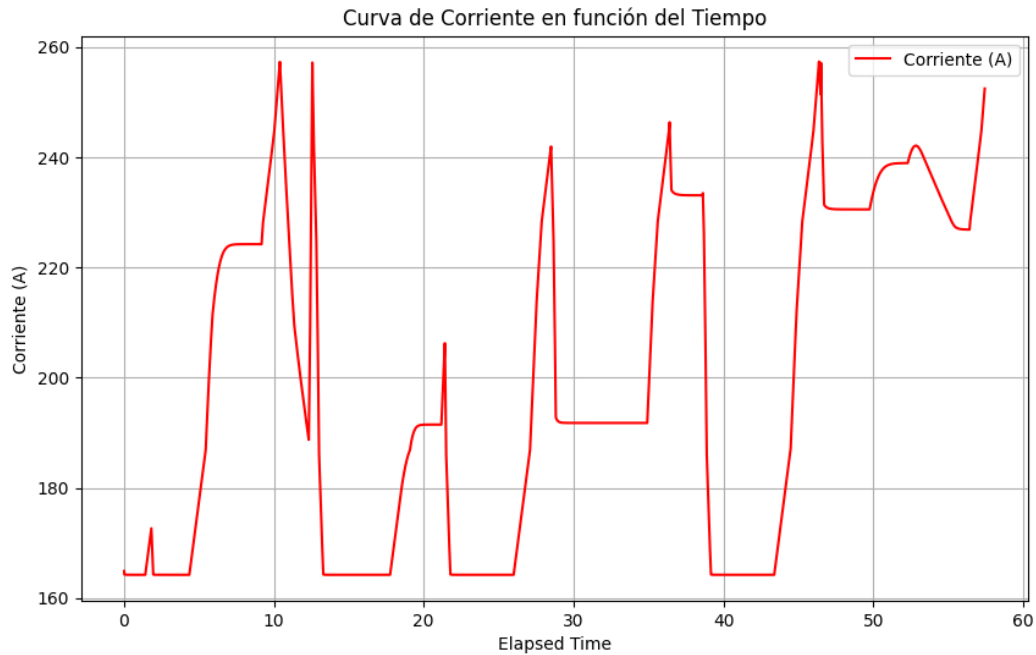


Ilustración 3 Curva de Corriente

Luego en función del efecto Joule, podemos calcular la generación de calor para cada punto temporal de la pista.

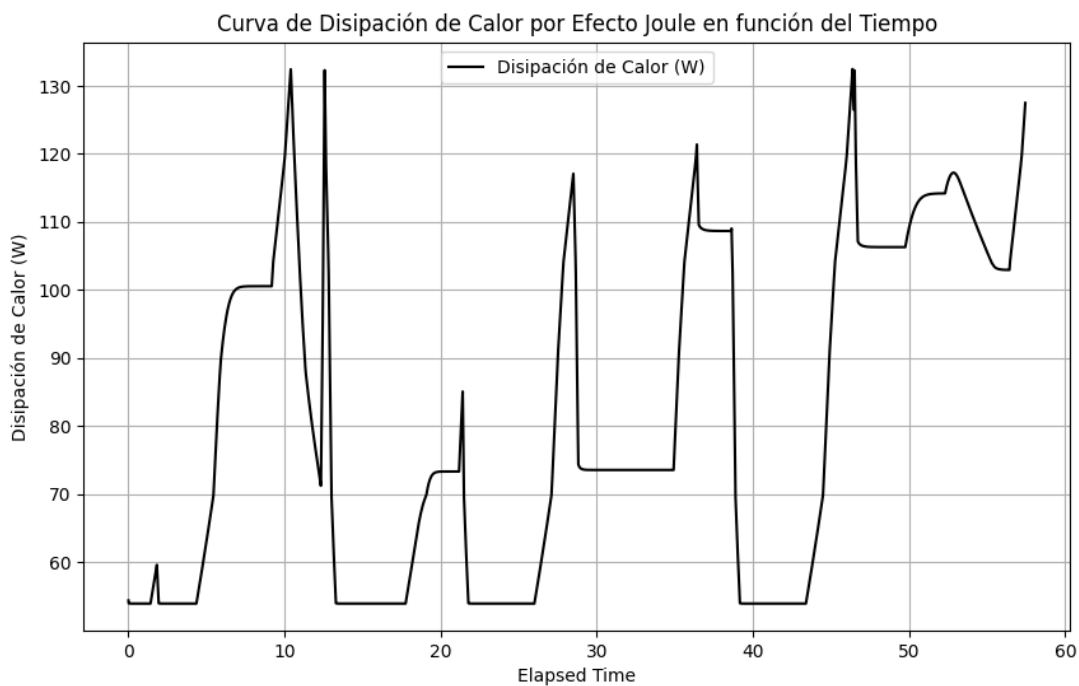


Ilustración 4 Curva de disipación de calor

Resultado	Valor
Área bajo la curva	4654.6 J
Calor generado en 22 vueltas	1919.2 W

Tabla 3 Resultados

La evaluación de la disipación de calor por efecto Joule a lo largo de 22 ciclos revela una integral de aproximadamente 4564.6 julios, lo que equivale a una generación de calor de alrededor de 1919.2 vatios durante ese periodo específico. Estos datos proporcionan información crítica sobre la cantidad total de energía disipada en forma de calor debido a la corriente que circula a través de la resistencia en la batería.

Este análisis no solo cuantifica la magnitud de la disipación térmica, sino que también arroja luz sobre aspectos cruciales del rendimiento térmico y la eficiencia de la batería en condiciones de operación particulares. La capacidad de comprender la relación entre la energía disipada y la potencia generada durante un número específico de vueltas es esencial para evaluar con precisión cómo la batería maneja la corriente eléctrica y cómo este proceso afecta su eficiencia térmica en situaciones prácticas.

Solución del problema a través del método de elementos finitos y Ansys.

Para resolver el problema multifísico que conlleva el diseño y optimización del sistema de refrigeración del banco baterías, se utilizará una metodología que consiste en primer lugar una vez ya determinado de manera analítica los valores de energía en términos de calor como cota superior, poder obtener a través de ANSYS, las zonas en donde las baterías en su conjunto estarán disipando esta cantidad de calor.

Una vez obtenida la zona o espacio por donde debe pasar el flujo refrigerante, se procede a través de un análisis de flujo estático en Fluent a calcular y determinar numéricamente los mapas de velocidad y presión alrededor del recinto que encierra a las baterías como volumen de control, con el fin de determinar la configuración que nos brinde un flujo envolvente constante alrededor de las zonas de calor, una vez determinar la configuración optima de arreglo de ventiladores, se procede a analizar las métricas necesarias para la configuración de estos con el fin de obtener el h convectivo necesario para disipar el calor dentro del banco de baterías, garantizando así una aproximación general al sistema multifísico presente en este fenómeno.

Análisis térmico de un banco de baterías FSAE 2024.

Se procede a mostrar la geometría que representa el pack de baterías en configuración 24s1p.

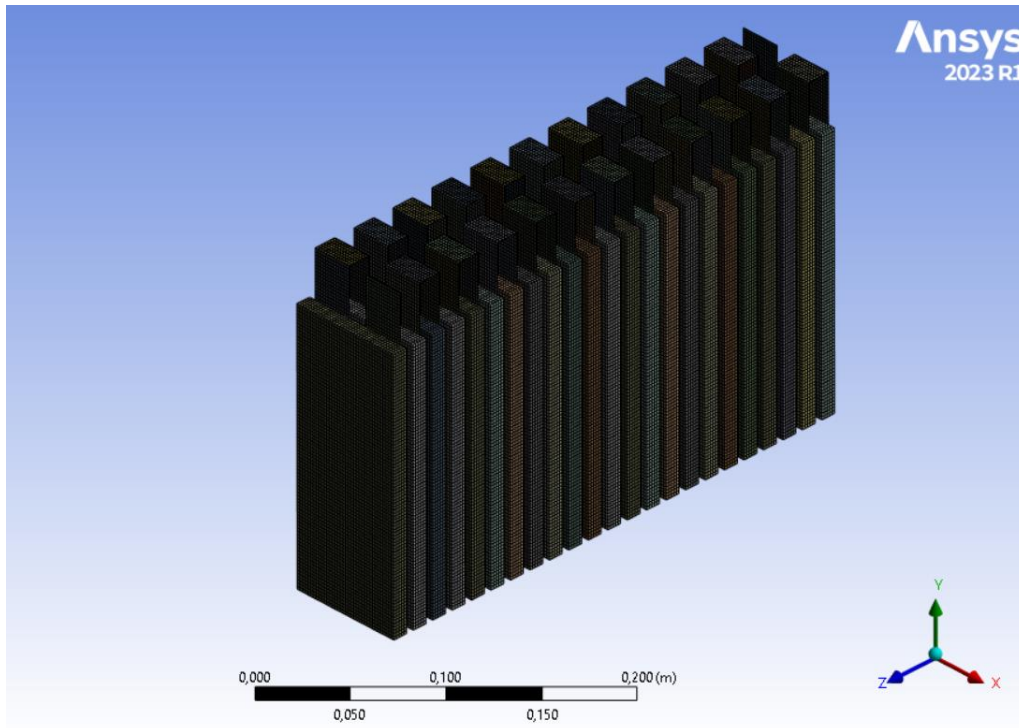


Ilustración 5 Geometría pack de baterías 24s1p

Se presenta el pack diseñado en el programa ANSYS, en donde se escogen elementos tetraedricos para la discretización del modelo, este método de mallado es conveniente en este caso debido a la geometría prismática del dominio, garantizando la ortogonalidad y las métricas de mallado que permitan mas adelante no tener problemas al momento de iterar sobre el dominio de estas.

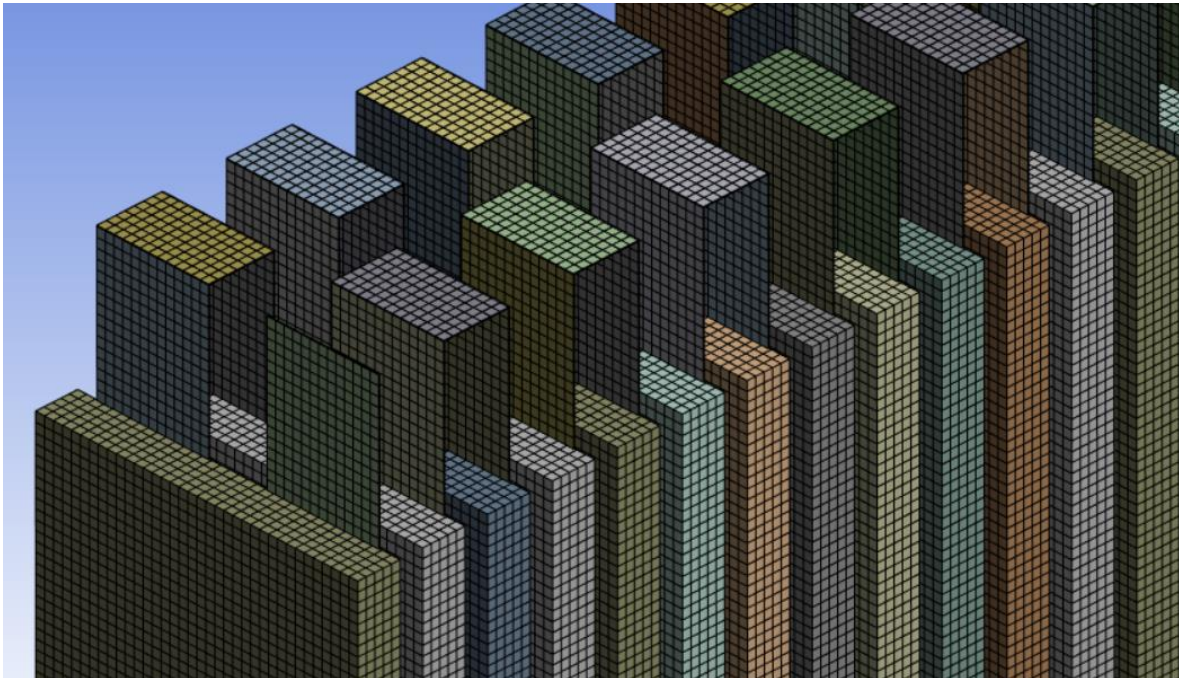


Ilustración 6 Discretización dominio pack de baterías.

Se presentan a continuación las métricas de calidad de mallado.

Statistics	
<input type="checkbox"/> Nodes	490778
<input type="checkbox"/> Elements	380050
Show Detailed Statistics	No

Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	1,3057e-010
<input type="checkbox"/> Max	1,3126e-010
<input type="checkbox"/> Average	1,3059e-010
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,

Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,18196
<input type="checkbox"/> Max	0,9968
<input type="checkbox"/> Average	0,96321
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,16166

Ilustración 7 Métricas de calidad del mallado

Las métricas de malla proporcionadas revelan un nivel excepcional de precisión en la simulación,

demostrando una cuidadosa atención a la calidad de la estructura de la malla. La métrica de sesgo, que evalúa la cercanía de la malla a su forma ideal, revela valores notablemente bajos, oscilando entre $1,3057e-010$ y $1,3126e-010$. Estos números indican una proximidad extraordinaria de los elementos de malla a sus formas teóricas, evidenciando una meticulosidad en el proceso de generación de la malla.

La calidad del elemento, una métrica compuesta que considera la relación volumétrica y las longitudes de bordes, presenta valores que varían de 0,18196 a 0,9968. Este rango refleja predominantemente elementos de alta calidad en la malla. Un valor de 1 en esta métrica simboliza geometrías perfectas, mientras que 0 indica elementos con volumen nulo o negativo. En este contexto, la mayoría de los elementos de malla exhiben una calidad considerable, sugiriendo un diseño y una implementación cuidadosos.

Es imperativo destacar que la confiabilidad de los resultados de una simulación de elementos finitos está intrínsecamente vinculada a la calidad de la malla. En este sentido, la excepcional calidad de la malla utilizada en la simulación proporciona una base sólida para la obtención de resultados precisos y confiables. Se recomienda una consulta adicional en la documentación de ANSYS para una comprensión más profunda de estas métricas, subrayando la importancia de mantener altos estándares en la generación de mallas para garantizar la validez de los resultados de la simulación.

Luego para la configuración del setup se procede de la siguiente manera.

Gracias a las licencias research entregadas por ANSYS al equipo ESUS, es posible importar un módulo de baterías, cuya configuración de presenta a continuación.



Battery Model

☒ Enable Battery Model

Model Options Conductive Zones Electric Contacts Model Parameters UDF Advanced Op

Solution Method

☐ CHT Coupling
☐ FMU-CHT Coupling
☐ Circuit Network
☒ MSMD

E-Chemistry Models

☒ NTGK Empirical Model
☐ Equivalent Circuit Model
☐ Newman P2D Model
☐ User-defined E-Model

MSMD Method Option

☐ Reduced Order Method

Energy Source Options

☒ Enable Joule Heat in Passive Zones
☒ Enable E-Chem Heat Source

Solution Controls

Current Under-Relaxation
Voltage Correction Under-Relaxation

Electrical Parameters

Nominal Cell Capacity [ah] ☐ Life Model

Solution Options

☐ Specified C-Rate
☐ Specified System Current
☐ Specified System Voltage
☒ Specified System Power
☐ Specified Resistance
☐ Using Profile
☐ Set in Boundary Conditions

C-Rate
System Current [a]
System Voltage [v]
System Power [W]
External Resistance [ohm]
Min. Stop Voltage [v]
Max. Stop Voltage [v]

Echem Stop Criterion

☒ Voltage ☐ SOC

Ilustración 8 Setup modelo baterías MSMD.

El material de las terminales y la zona activa de las baterías se presentan a continuación.

Name Material Type Order Materials by ☒ Name ☐ Chemical Formula

Chemical Formula Fluent Solid Materials

Mixture

Properties

Density [kg/m³]

Cp (Specific Heat) [J/(kg K)]

Thermal Conductivity [W/(m K)]

Electrical Conductivity [S/m]

Ilustración 9 Propiedades materias de los tabs.



Name	Material Type	Order Materi
e	solid	<input checked="" type="radio"/> Name
Chemical Formula	Fluent Solid Materials	<input type="radio"/> Chemical
em	e (em)	Fluent
	Mixture	GRANTA M
	none	User-Defin

Properties	
Density [kg/m ³]	constant
	2092
Cp (Specific Heat) [J/(kg K)]	constant
	678
Thermal Conductivity [W/(m K)]	constant
	18.4
Electrical Conductivity [S/m]	constant
	3.541e+07

Ilustración 10 Propiedades material zona activa.

Para esta simulación, no se considera la interacción entre el aire refrigerante y la generación de calor, por lo que solamente se ingresa en la secuencia de descarga de corriente presentada anteriormente como condiciones de contorno, se realiza una simulación de 1500 segundos transiente, con el cual obtenemos el perfil de temperaturas del banco de baterías, sometido al estrés de la competencia Endurance.

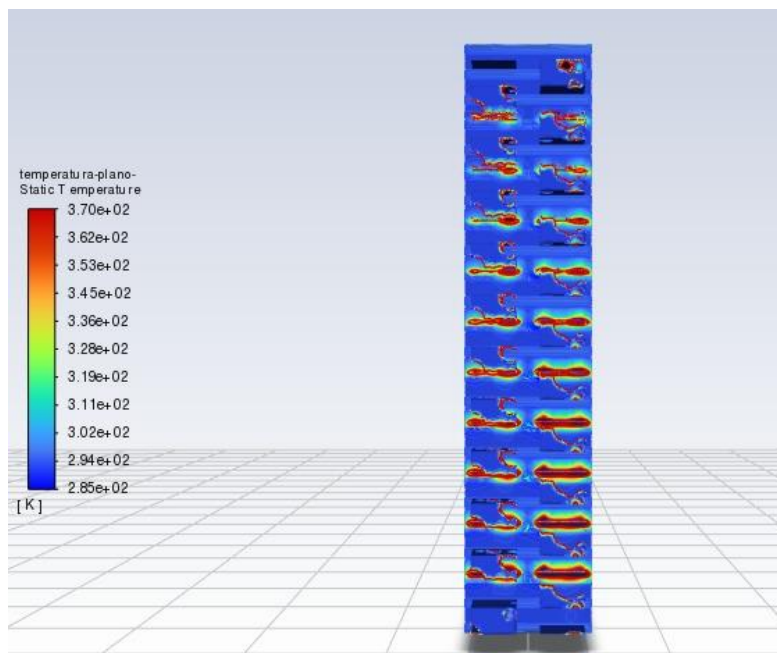


Ilustración 11 Vista en planta mapa de temperaturas.

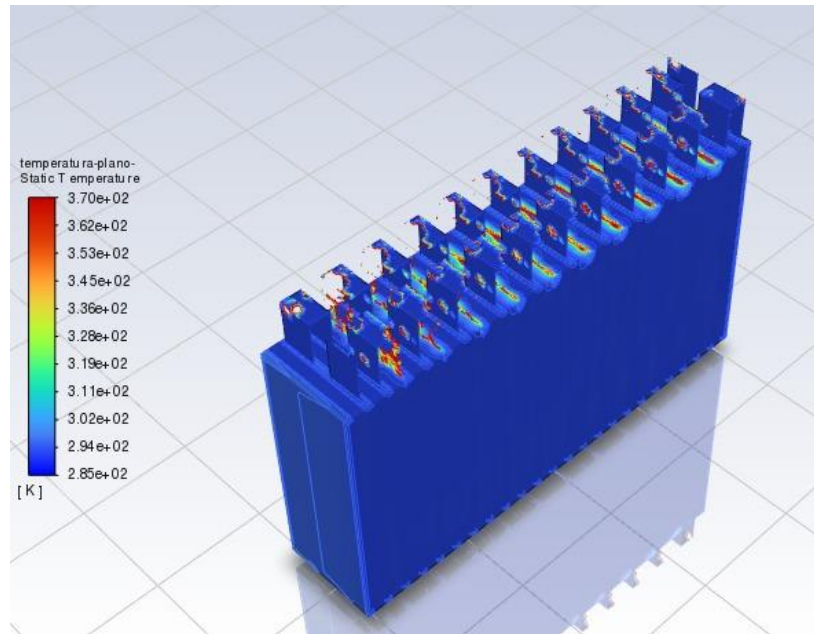


Ilustración 12 Campo de temperaturas vista isométrica.

La simulación térmica en ANSYS del banco de baterías para la competencia FSAE 2024 ofrece una visión detallada de la distribución de calor. Con temperaturas que oscilan entre 285K y 370K, es evidente que algunos puntos, especialmente los tabs de la batería, presentan rangos térmicos críticos, lo cual es coherente con la información presente en la literatura y en la información compartida por equipos que utilizan este tipo de celdas.

La variación de colores en las celdas indica zonas de temperatura, destacando áreas rojas de calor elevado y azules de temperaturas más bajas. Este análisis detallado permite identificar áreas propensas al sobrecalentamiento, vital para la seguridad y el rendimiento del banco de baterías, lo cual nos brinda una noción de por donde se debe ingresar el flujo refrigerante con el fin de optimizar su funcionamiento y no ingresar aire en zonas en donde el gradiente térmico es nulo.

Es esencial evaluar los gradientes de temperatura entre las celdas, comprendiendo cómo afectan el sistema global. Además, se debe analizar la eficiencia del sistema de enfriamiento y la influencia específica de los tabs de la batería en la distribución de calor.

Este enfoque no solo busca la optimización del diseño, considerando posibles ajustes en la disposición de las celdas y la gestión térmica, sino también garantiza la seguridad y prolonga la vida útil de las baterías al evitar temperaturas críticas. La simulación actúa como una herramienta valiosa para la toma de decisiones en la mejora del rendimiento y la seguridad del sistema de baterías.

Análisis de flujo alrededor de las baterías.

Para obtener la configuración adecuada de las tomas de aire, para inyección de aire refrigerante y extracción del aire con calor, se procede a simular en ANSYS, un modelo de flujo estacionario para obtener una perspectiva de lo que podría estar pasando al ingresar un flujo de aire a través de la geometría que representa la disposición de las celdas dentro de este, para así poder tomar la decisión final de como se dispondrán de las tomas de aire, se inicia mallando el volumen de control, tomando dos tomas de aire, una para la entrada y otra para la salida, y se procede a discretizar el dominio, con la herramienta fluent-meshing.

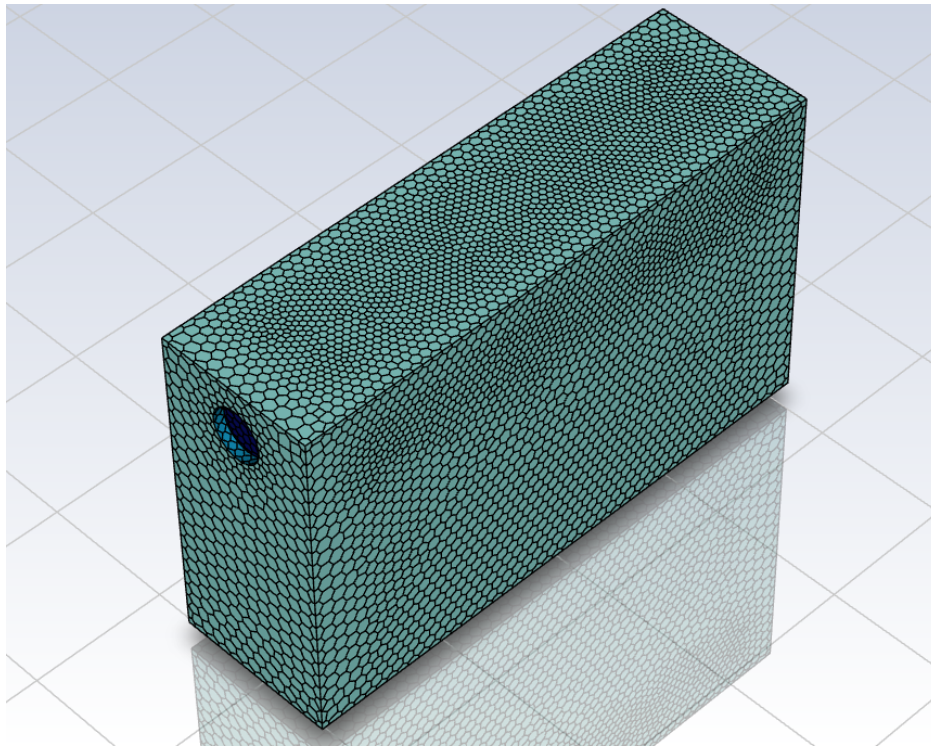


Ilustración 13 discretización volumen de control.

Se presentan las métricas de la malla obtenida, en donde se aprecia la calidad de esta.



```
Meshing> Reading "C:\Users\Juan Vega\Desktop\sim baterias\sss\xx_files\dp0\FFF\Fluent\FFF.1.msh.h5" ...
3D mesh
nodes: 10813867
edges: 27772
faces: 17807692
cells: 4116245
reading 3 node zones
reading 14 edge zones
reading 10 face zones
reading 1 cell zones
updating sub-domains...
done.
generating pointers...done.
extracting boundary entities...
  1520342 boundary nodes.
  525247 boundary faces.
  9 boundary face zones.
done.
generating cells...done.
analyzing boundary connectivity...done.

Mesh Quality:

Minimum Orthogonal Quality = 0.000000e+00
Warning: minimum Orthogonal Quality below 0.01.

Maximum Aspect Ratio = 1.02524e+02
```

En el setup, solamente se considerando las paredes del sistema como variables de contorno y una entrada y salida de 1 m/s para obtener el campo de velocidades y presiones del sistema simulado.

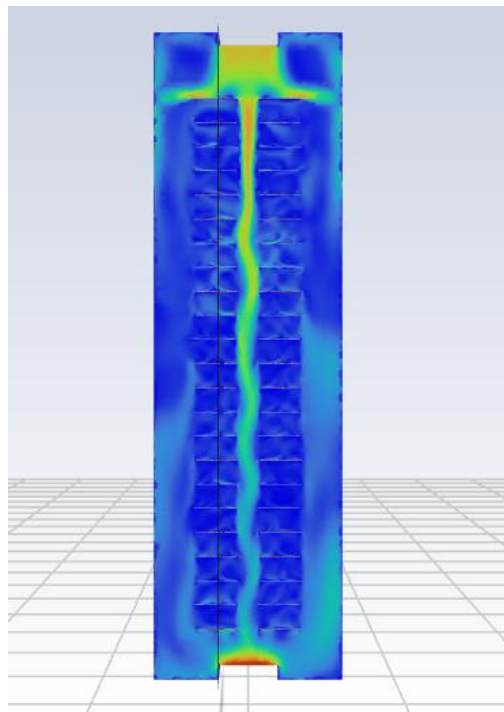


Ilustración 14 campo de velocidades planta.

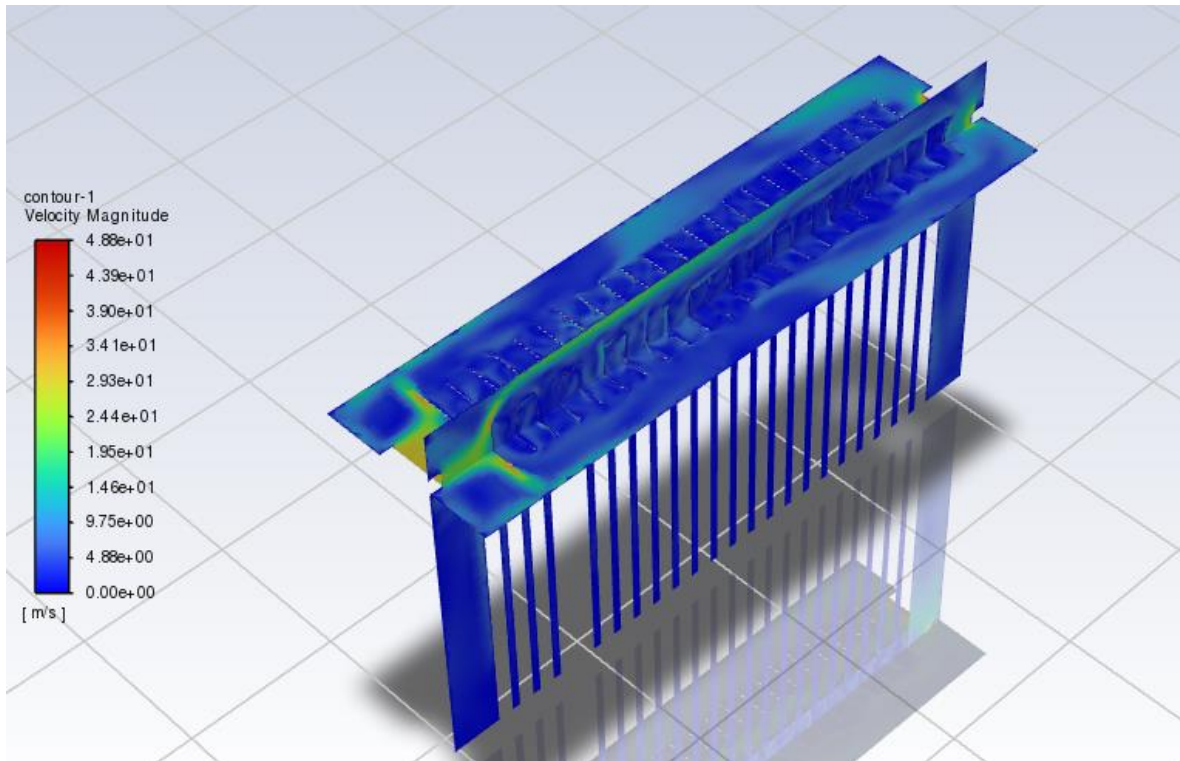


Ilustración 15 campo de velocidades isométrica.

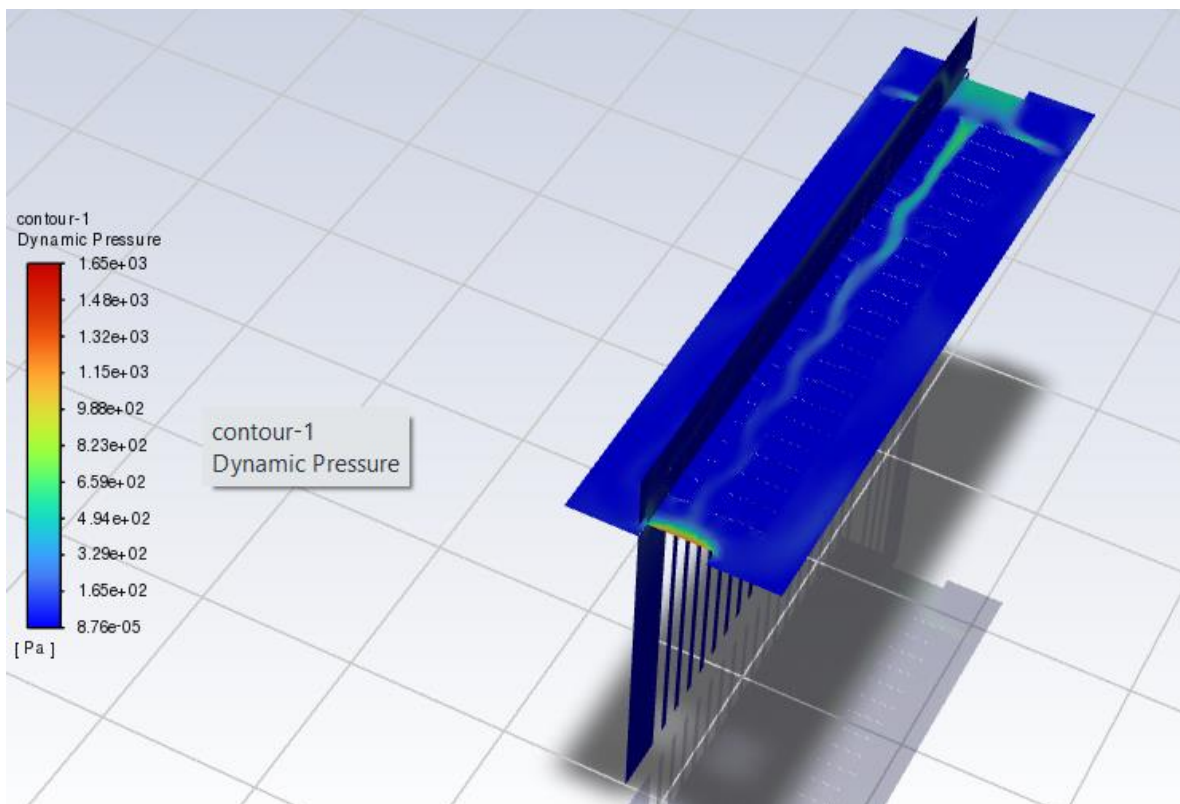


Ilustración 16 Campo de Presiones

En conclusión, esta forma de ingresar aire al recinto no favorece la transferencia de calor, por lo que se escoge que los extractores saquen aire por la superficie lateral del banco.

Calculo para la disipación de calor del banco de baterías.

Tenemos que el calor que debe ser disipado en 22 vueltas es de:

$$Q_{total} = 1919.2 \text{ W}$$

Por lo que la estrategia que se define en función de la evolución de la temperatura es comenzar a refrigerar el banco antes de que la temperatura se escape a 370 K, por lo que los análisis de transferencia de calor serán enfocados en una temperatura de 60 Celsius o 330 K para evitar todo evento de fuga térmica y trabajar en un ambiente sumamente controlado, tarea la cual es la siguiente de este proyecto, que no será abordada en esta memoria.

Se utilizará el mecanismo de convección forzada para disipar el calor dentro del banco de baterías, para ello se tiene la ecuación.

$$Q_{conv} = hA_{bat}(T_{bat} - T_{amb})$$

Donde se escoge.

$$T_{bat} = 333 \text{ K}$$

$$T_{amb} = 293 \text{ K}$$

Se tiene que el área efectiva de transferencia de calor es:

$$A_{efectiva} = 0.128 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, despejando h se obtiene, que el h requerido es de:

$$h = \frac{Q_{total}}{A_{efectiva}(T_{bat} - T_{amb})} = 375.137 \text{ W/Km}^2$$

Desde la literatura se extrae que:



Medio	Coefficiente de transferencia de calor h ($W/m^2 \cdot K$)
Aire (convección natural)	5-25
Aire/vapor supercalentado (convección forzada)	20-300
Petróleo (convección forzada)	60-1800
Agua (convección forzada)	300-6000
Agua (en ebullición)	3000-60.000
Vapor (en condensación)	6000-120.000

Ilustración 17 Medidas

Análisis de la transferencia de calor

La imagen muestra una tabla de transferencia de calor que indica que se necesita una gran cantidad de calor para transferir la temperatura de una sustancia metálica desde una temperatura inicial de 20 °C a una temperatura final deseada de 60 °C.

El coeficiente de transferencia de calor (h) calculado es de 375.137 W/Km². Este valor es bastante alto, lo que indica que se necesita una gran cantidad de calor para disipar la temperatura de la superficie metálica en contacto con el flujo con una temperatura de refrigeración de 20 °C a una temperatura final deseada de 60°C.

La tabla de transferencia de calor indica que el coeficiente de transferencia de calor para el aire (convección natural) es de 5-25 W/m².K. Este valor es mucho menor que el valor calculado de 375.137 W/m².K. Esto indica que la convección natural no es suficiente para transferir la cantidad de calor requerida.

Se recomienda entonces utilizar convección forzada o la conducción para transferir el calor de manera eficiente.

Asumiendo que el caudal de entrada es igual al caudal de salida, y que además las estas poseen la misma área transversal, tenemos que las velocidades de entrada y salida son iguales, lo que nos permite obtener la siguiente relación.

$$Q_{dis} = mC_p(T_{amb} - T_{banco})$$



Donde.

- $C_{\text{aire}} = 1007 \frac{J}{kgK}$
- $\rho_{\text{aire}} = 1.2 \frac{kg}{m^3}$

Por lo tanto.

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{dis}}$$

$$mCp(T_{\text{amb}} - T_{\text{banco}}) = 1919.2 W$$

$$m_{\text{aire}} = 0.038 \frac{kg}{s}$$

Es la cantidad de aire que debe circular para mantener el banco en su interior a 60°C, una vez obtenida la masa de aire se procede a dimensionar el ventilador adecuado para el sistema de refrigeración.

Para determinar el caudal de operación.

$$Caudal_{\text{aire}} = \frac{m_{\text{aire}}}{\rho_{\text{aire}}} = 0.032 \frac{m^3}{s}$$

Luego.

$$r_{\text{ent_banco}} = \frac{31.75}{2} mm.$$

$$A_{\text{ent_banco}} = 7.917 cm^2$$

Por lo tanto, la velocidad del aire viene dado por:

$$V_{\text{aire}} = \frac{Q_{\text{aire}}}{4 * A_{\text{ent_banco}}} = 10.03 m/s$$

Para cumplir con este caudal de operación, se necesita un gran ventilador o extractor de Aire, es por ello por lo que se selecciona el modelo, **Extractor de aire en línea para ducto TD-800200N 3V MIXVENT SP.**

Extractor de aire en línea para ducto TD-800200N 3V MIXVENT SP



Ilustración 18 Extractor de aire

Una vez seleccionado el equipo, se procede a calcular la configuración adecuada de este.

$$w_{operación} = \frac{V_{aire}}{r_{vent}} = 958 \text{ rpm.}$$

Análisis y Consideraciones Detalladas:

1. Estrategia de Refrigeración: La estrategia de comenzar a refrigerar el banco de baterías antes de que la temperatura alcance los 370 K demuestra una precaución fundamentada. Iniciar la refrigeración a 60 °C (330 K) es una medida proactiva para evitar posibles eventos de fuga térmica, mostrando una gestión térmica avanzada y controlada.

2. Mecanismo de Convección Forzada: La elección del mecanismo de convección forzada para disipar el calor dentro del banco de baterías es acertada. La ecuación indica la necesidad de un coeficiente de transferencia de calor (h) de 375.137 W/ (K m²). Este valor alto sugiere la utilización de convección forzada para una eficiente disipación de calor.

3. Análisis de Transferencia de Calor:

- La tabla presentada sobre transferencia de calor destaca la necesidad de una gran cantidad de calor para transferir la temperatura de la sustancia metálica. El coeficiente de transferencia de calor calculado es considerablemente alto, indicando la demanda de un sistema eficiente de refrigeración.
- La comparación con el coeficiente de transferencia de calor del aire (convección natural) sugiere la insuficiencia de este último para cumplir con los requisitos. La recomendación de

utilizar convección forzada o conducción es válida, respaldada por el análisis del coeficiente calculado.

4. Caudal de Aire y Selección del Ventilador:

- El análisis de caudal de aire (Q_{aire}) necesario para mantener el banco a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ es integral. La elección de un extractor de aire en línea para ducto (TD-800200N 3V MIXVENT SP) parece apropiada para cumplir con los requisitos de caudal y gestión térmica.
- La velocidad del aire (V_{aire}) calculada es de 10.03 m/s , indicando la necesidad de un ventilador robusto. La selección del modelo específico es TD-800200N, con una velocidad de operación de 958 rpm , es un paso crucial para el éxito del sistema de refrigeración.

5. Dimensionamiento del Ventilador:

- La velocidad de operación ($V_{\text{aire_vent}}$) de 958 rpm es una consideración clave. Asegura un caudal de aire adecuado para mantener la temperatura del banco de baterías en el rango deseado.
- La configuración adecuada del extractor de aire respalda la estrategia general de refrigeración y garantiza que el sistema funcione eficientemente bajo condiciones de competición.

6. Consideraciones Finales:

- El enfoque en la prevención de eventos térmicos no deseados y la selección de métodos activos de gestión térmica, como la convección forzada, son fundamentales para el rendimiento y la seguridad del sistema.
- La elección de un extractor de aire adecuado es esencial, y la velocidad de operación del ventilador es coherente con los requisitos de caudal y las condiciones de temperatura establecidas.
- Se demuestra una planificación y análisis meticulosos en la gestión térmica del banco de baterías, resaltando la importancia de la anticipación y la eficiencia en condiciones de competición.

Automatización del sistema.

IV . Especificaciones del diseño

IV.I Requisitos Funcionales:

- Control de Temperatura: El sistema debe ser capaz de monitorear con precisión la temperatura de las baterías de iones de litio utilizando el sensor AMG8833.
- Activación Automática de Ventiladores: Los ventiladores deben activarse automáticamente cuando la temperatura detectada supera los 30°C.
- Regulación Continua: El sistema debe mantener un monitoreo y ajuste continuos para garantizar que las baterías operen dentro del rango de temperatura óptimo.
- Interfaz de Usuario: Una interfaz sencilla para visualizar las lecturas de temperatura y el estado de los ventiladores.

IV. II Requisitos No Funcionales:

- Fiabilidad: El sistema debe operar de manera consistente y precisa bajo condiciones normales de funcionamiento.
- Eficiencia Energética: Minimizar el consumo de energía tanto del sistema de monitoreo como de los ventiladores.
- Seguridad: Incorporar medidas para prevenir fallos que puedan conducir a condiciones inseguras.
- Facilidad de Mantenimiento: Diseño que permita un fácil acceso para mantenimiento y reparaciones.
- Escalabilidad: Capacidad para adaptarse a diferentes tamaños y configuraciones de paquetes de baterías.

Estas especificaciones establecen un marco claro para el desarrollo y evaluación del sistema de refrigeración automatizado, asegurando que cumpla con los criterios de rendimiento y seguridad necesarios para la aplicación en baterías de iones de litio.

V. Problemas

Las baterías de iones de litio son sensibles a la temperatura. Si se calientan demasiado, pueden degradarse o incluso incendiarse. En este caso, el banco de baterías se encuentra en un ambiente cálido, lo que aumenta el riesgo de que se sobrecaliente, el banco de baterías del ESUS-racing, tiene

una configuración de 112S1P, por lo cual debido a esta configuración es fundamental tener un control térmico de la temperatura en su interior, porque al fallar una puede perjudicar el banco completo.

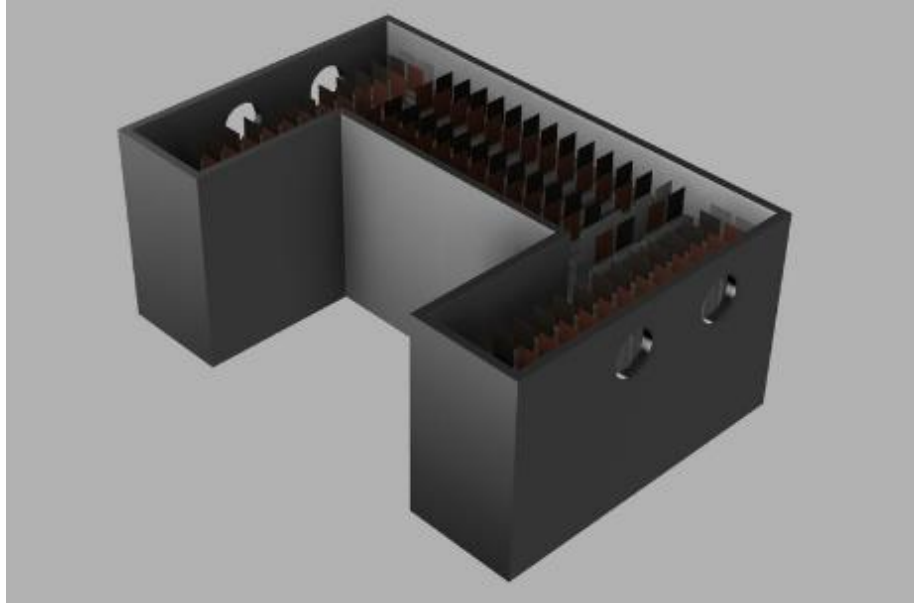


Ilustración 19 Banco de Baterías

La solución planteada, fundamentada en los principios del Design Thinking, consiste en desarrollar un sistema automatizado de refrigeración. Este sistema estará diseñado para utilizar la temperatura como una variable de entrada crítica, lo que permitirá una extracción eficiente del aire caliente acumulado dentro del banco de baterías. Este proceso de extracción se basa en el principio de convección, donde el aire entrante interactúa con la superficie de la batería, facilitando la transferencia de calor desde el cuerpo de la batería al ambiente exterior. De esta manera, se asegura una regulación térmica óptima, crucial para el mantenimiento de la eficiencia y longevidad de las baterías de iones de litio.

VI. Campo térmico de las baterías.

Una vez simulada la pista de carrera, es posible obtener los requerimientos energéticos y las tasas de descargas requeridas por el banco, datos de entrada que se ingresan a ANSYS, para obtener el campo de temperaturas dentro de un pack.

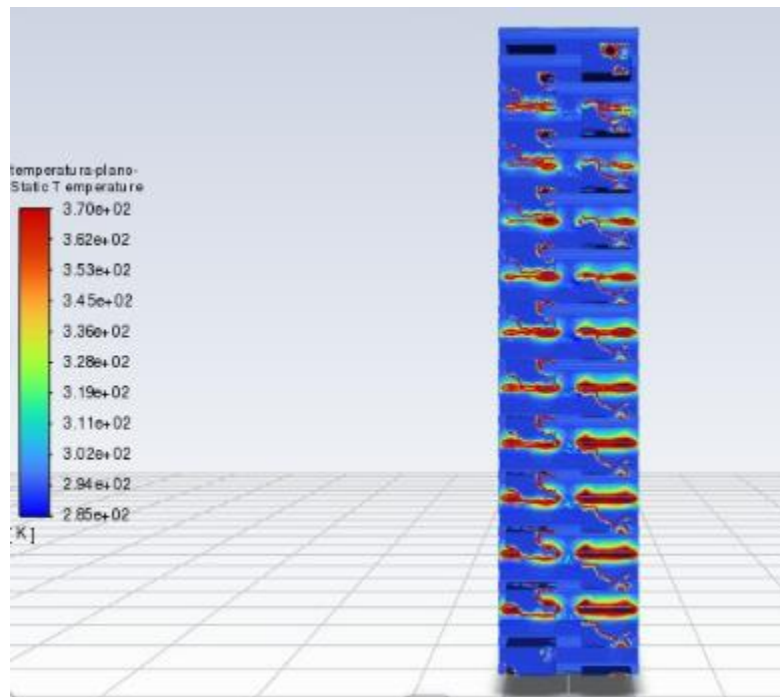


Ilustración 20 Campo térmico baterías

En función de las temperaturas obtenidas, se propone el siguiente diseño para la refrigeración.

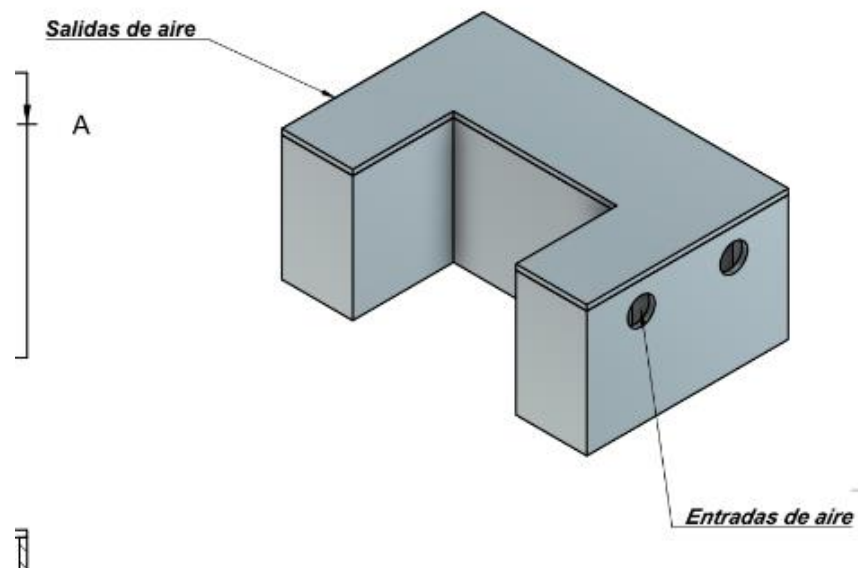


Ilustración 21 Diseño Refrigeración Propuesto

Donde los conductos de entradas están conectados a los pontones del vehículo para utilizar el aire circundante del vehículo.

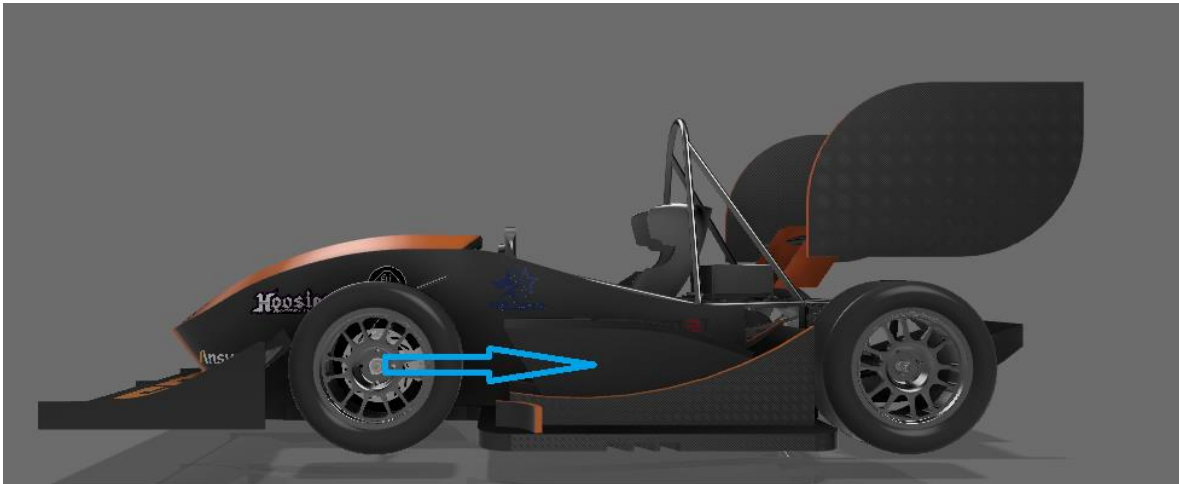


Ilustración 22 Vehículo y Aire circundante

Dicho aire entrará al banco aproximadamente a 60 km/h según los cálculos del equipo aerodinámico de ESUS.

Posteriormente en Ansys se procede a graficar el campo de velocidades para estimar la potencia del ventilador requerida, en función del campo de velocidades, como se determinó anteriormente, con esta simulación podemos obtener el parámetro de la presión estática que debe vencer el ventilador para poder extraer el calor del recinto de la manera mas eficiente posible.

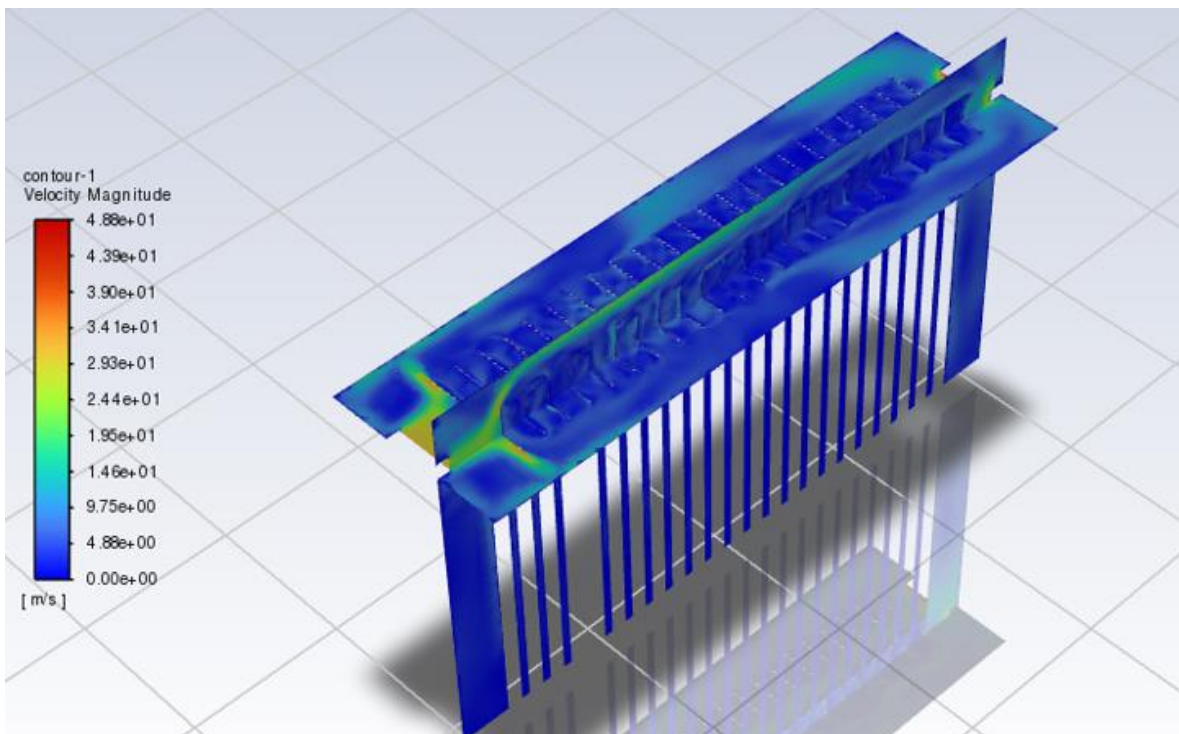


Ilustración 23 Campo velocidades ANSY

Una vez obtenido los requerimientos mecánicos para resolver el problema, se procede a desarrollar la solución en términos de automatización y su desarrollo electrónico.

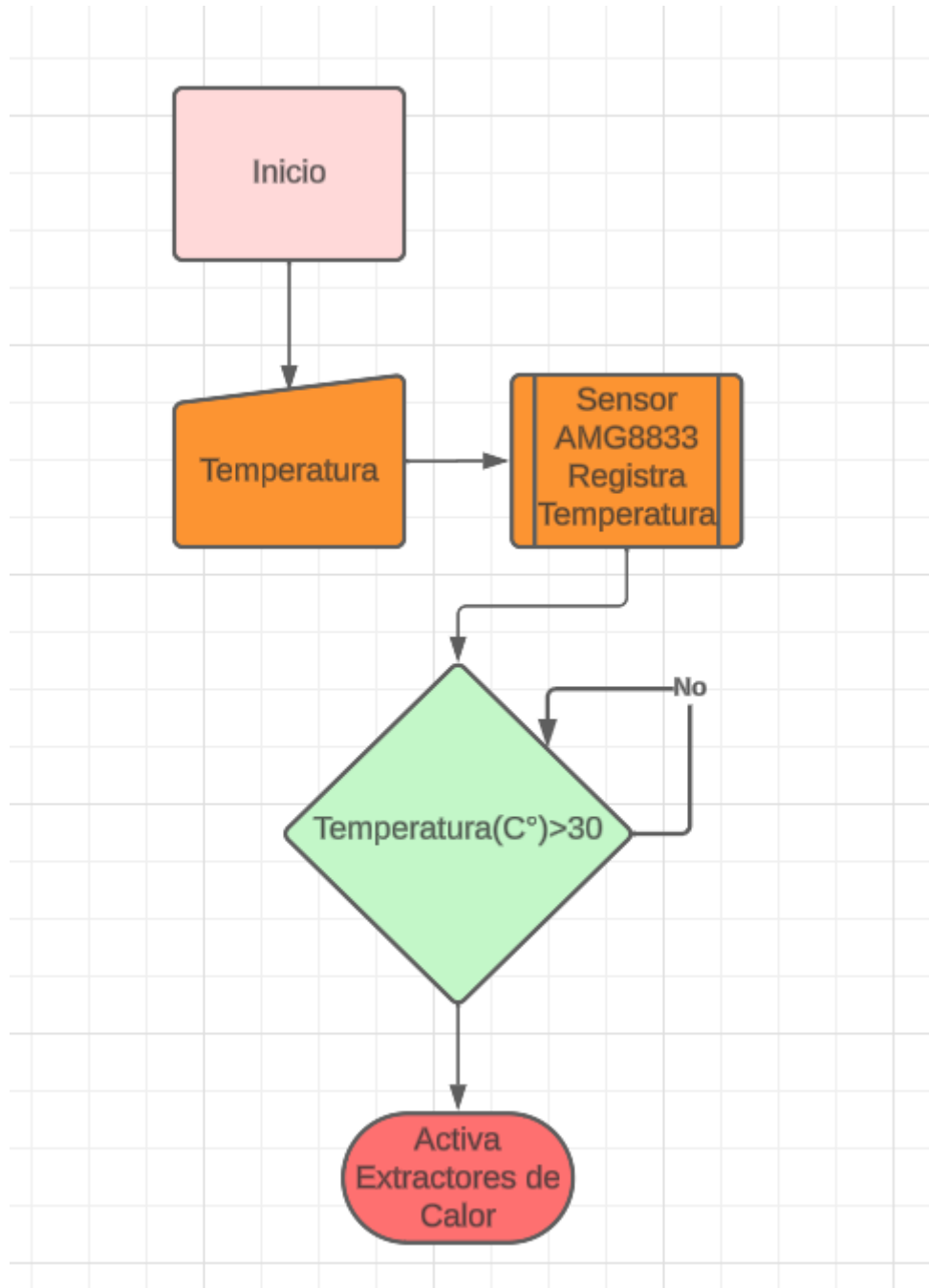


Ilustración 24 Diagrama

El diagrama proporcionado es un flujo de proceso simple que describe la operación de un sistema

de refrigeración automatizado para baterías de iones de litio. El proceso comienza con el "Inicio" y procede a la medición de la "TEMPERATURA" del sistema. El "SENSOR AMG8833" es responsable de registrar la temperatura actual de las baterías.

Si la temperatura medida es mayor a 30°C, lo que indica una condición de sobret temperatura, el sistema responde activando los "extractores de calor". Esto significa que si la temperatura es igual o superior a 30°C, el sistema automatizado enciende los ventiladores de extracción para enfriar las baterías. Si la temperatura es inferior a 30°C, el sistema no realiza ninguna acción y continúa monitoreando la temperatura.

Este ciclo de monitoreo y respuesta se repite continuamente, asegurando que las baterías operen dentro de un rango de temperatura seguro y eficiente.

Una vez obtenido, el esquema global de funcionamiento se procede a simular la situación real en Arduino, para posteriormente extrapolar este modelo a un sistema más robusto.

VI. Informe Electrónico.

La imagen proporcionada muestra un sensor de infrarrojos AMG8833 conectado a una placa Arduino UNO. El sensor AMG8833 es un módulo de cámara térmica infrarroja que brinda una visión de la distribución de la temperatura en su campo de visión. En esta configuración específica, el sensor se encuentra conectado a la placa Arduino UNO de manera precisa y efectiva.

En primer lugar, es importante destacar que la conexión VCC del sensor se encuentra conectada al pin de 5V del Arduino. Esta conexión suministra la energía necesaria para el funcionamiento del sensor, garantizando así su operatividad.

Además, la conexión GND del sensor se encuentra unida al pin GND del Arduino. Esta conexión es esencial para establecer una tierra común entre el sensor y el Arduino, lo que asegura una correcta referencia de voltaje y un funcionamiento adecuado.

En cuanto a las conexiones de comunicación, el sensor utiliza el protocolo I2C para transmitir datos al Arduino. El pin SCL del sensor se conecta al pin A5 del Arduino, lo que permite la transmisión de la línea de reloj de comunicación I2C (SCL, Serial Clock Line) desde el sensor al Arduino.

De manera similar, el pin SDA del sensor se conecta al pin A4 del Arduino. Esto establece la línea de datos de comunicación I2C (SDA, Serial Data Line) entre el sensor y el Arduino. Esta conexión I2C habilita la comunicación bidireccional, lo que permite al Arduino leer los valores de temperatura detectados por el sensor de manera eficiente.

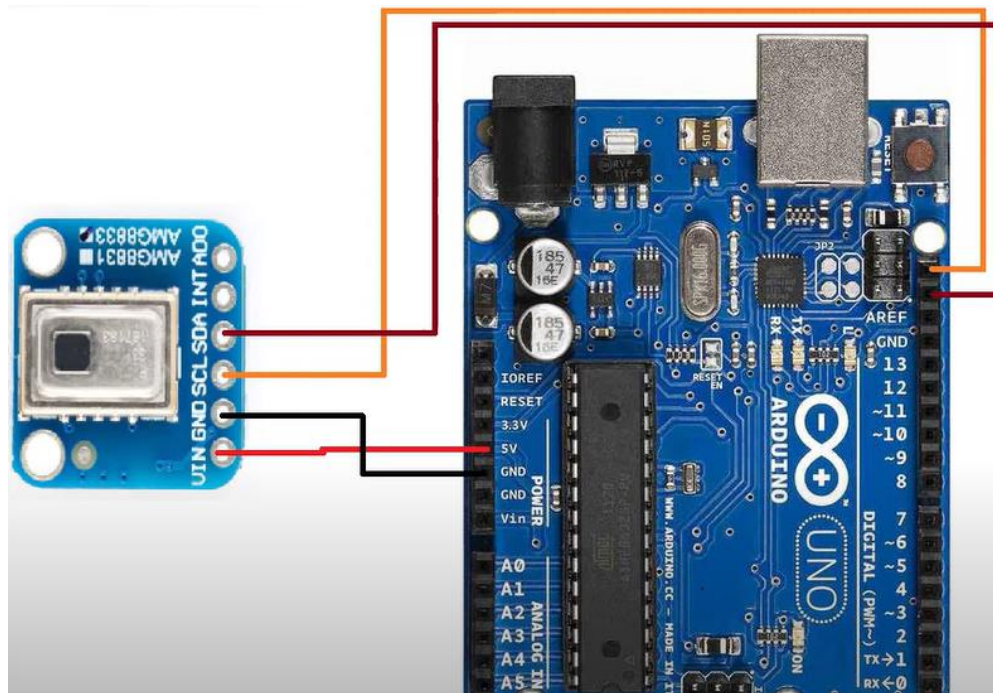


Ilustración 25 Sensor AMG 8833

A continuación, se presenta el conjunto conectado y funcionando, a continuación, explicaremos el software.

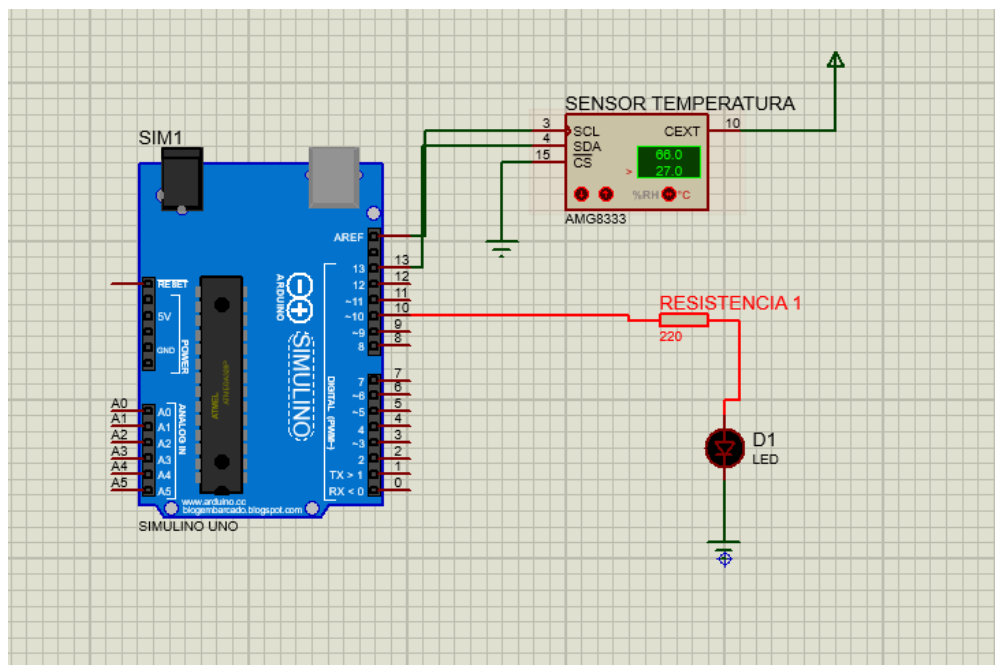


Ilustración 26 Conjunto Conectado

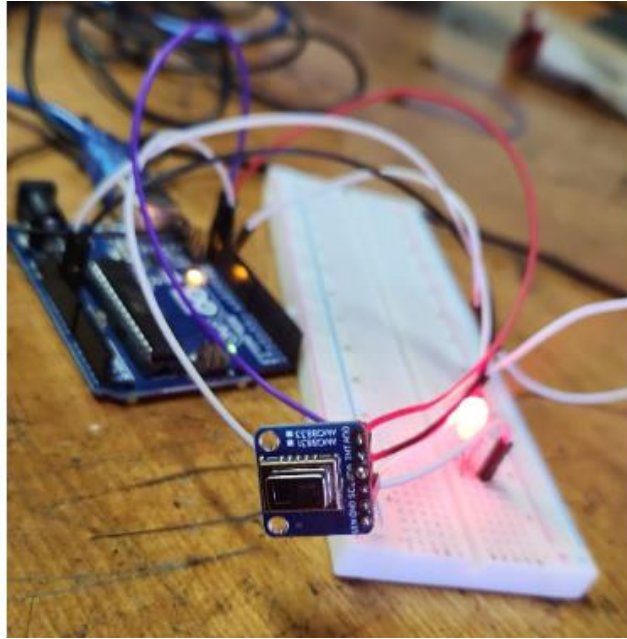


Ilustración 27 Sensor AMG 8833 Conectado

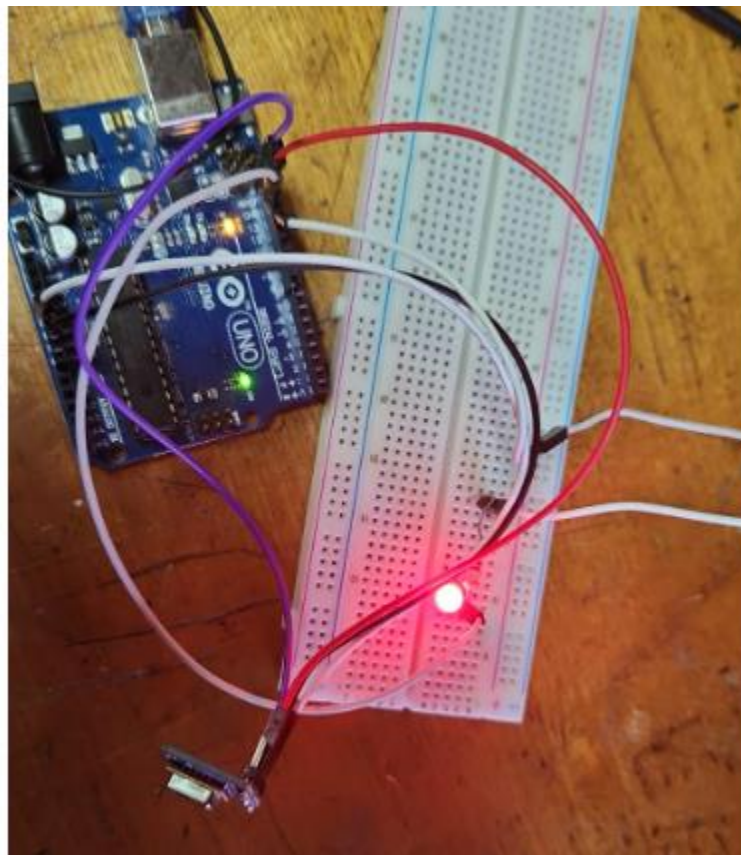


Ilustración 28 Ídem

Se aprecia que el hardware está funcionando, el led simula la acción del ventilador al momento de registrar la temperatura sobre 30 grados Celsius.

VII. Diseño de Software.

El siguiente código¹ presenta un el algoritmo con el cual se utiliza el sensor de cámara térmica infrarroja AMG8833 en combinación con una placa Arduino. El programa monitorea la temperatura ambiente y activa un LED cuando esta supera un umbral predefinido. A través de este código, se ilustra cómo integrar el sensor y realizar un control sencillo de la temperatura, lo que puede ser útil en diversas aplicaciones que requieran la detección y alerta de cambios de temperatura en un entorno controlado.

Este programa es un ejemplo de código diseñado para operar el sensor de cámara térmica infrarroja AMG8833 en conjunto con una placa Arduino. A continuación, se explica su funcionamiento de manera concisa y precisa:

1. Importación de librerías: El programa incluye las librerías "Wire.h" y "Adafruit_AMG88xx.h" para gestionar la comunicación I2C y el manejo del sensor AMG8833, respectivamente.
2. Definición de variables: Se define el pin del LED como el pin 13 y se establece un umbral de temperatura de 10.0 grados Celsius.
3. Configuración inicial en la función **setup()**:
 - Se inicia la comunicación serial a una velocidad de 9600 baudios.
 - Se verifica la existencia del sensor AMG8833 y se muestra un mensaje de error si no se detecta un sensor válido.
 - Se incluye una breve pausa para permitir la inicialización del sensor.
4. Proceso en la función **loop()**:
 - Se obtiene la lectura de temperatura del termistor del sensor mediante **amg.readThermistor()** y se almacena en la variable **temperature**.
 - Se muestra la temperatura en grados Celsius en el monitor serial.
 - Si la temperatura supera el umbral definido (**tempThreshold**), se activa el LED a través de **digitalWrite(ledPin, HIGH)**. En caso contrario, se apaga el LED mediante **digitalWrite(ledPin, LOW)**.

Se presenta la interfaz mostrada por IDE.

¹ Adjunto en Anexos



```
COM6 (Arduino Uno)

Thermistor Temperature = 30.19 *C
Thermistor Temperature = 30.12 *C
Thermistor Temperature = 30.12 *C
Thermistor Temperature = 30.12 *C
Thermistor Temperature = 30.12 *C
Thermistor Temperature = 30.12 *C
Thermistor Temperature = 30.19 *C
```

Ilustración 29 Interfaz IDE

Este programa tiene la finalidad de monitorear la temperatura ambiente utilizando el sensor AMG8833 y activar un LED cuando la temperatura excede un valor predeterminado. Su aplicación puede ser beneficiosa en situaciones que requieran un control simple de la temperatura, como alertas de altas temperaturas en un entorno controlado.

IX, Desing Thinkin.

Hace un tiempo, nos encontramos con un desafío técnico interesante en nuestro equipo ESUS: los problemas térmicos recurrentes en nuestros proyectos de desarrollo de vehículos solares Apolo. Los cuatro Apolos que habíamos construido previamente se enfrentaron a dificultades relacionadas con el control de temperatura, lo que puso en peligro el éxito de nuestras misiones solares.

Entendimos que no éramos los únicos en lidiar con problemas térmicos. La misma preocupación se presentaba en la vida cotidiana de las personas que utilizan baterías de litio en dispositivos electrónicos, así como en el ámbito de las competencias FSAE (Formula SAE). Era evidente que necesitábamos una solución técnica innovadora que abordara estos desafíos de manera efectiva y pudiera aplicarse tanto en vehículos solares como en competencias FSAE.

Fue entonces cuando optamos por aplicar la metodología del "Design Thinking" para abordar este problema de manera técnica. Esta metodología se enfoca en comprender profundamente las necesidades y experiencias de los usuarios. Comenzamos por realizar investigaciones exhaustivas,

recopilando datos y observando los problemas térmicos que enfrentábamos en el entorno de competencia, ya sea en carreras solares o en FSAE.

A medida que avanzamos en el proceso de diseño, identificamos patrones y oportunidades técnicas para mejorar la gestión de la temperatura. Fue en este punto cuando descubrimos el potencial del sensor de cámara térmica infrarroja AMG8833. Este sensor ofrecía la capacidad de proporcionar mediciones precisas y en tiempo real de la temperatura, lo que resultaría valioso tanto en vehículos solares como en vehículos FSAE.

Con el sensor AMG8833 en mente, nos dedicamos al desarrollo del código necesario para integrar eficazmente el sensor con una placa Arduino. Este código, basado en los principios de Design Thinking, se enfocó en la simplicidad y la utilidad técnica, permitiendo a los usuarios monitorear y controlar la temperatura de manera eficiente en sus respectivos entornos.

Al concluir el proyecto, habíamos logrado resolver no solo los problemas térmicos en nuestros vehículos solares Apolo, sino también crear una solución técnica versátil y valiosa para la comunidad de competencias solares y FSAE. Ahora, tanto los equipos de carreras solares como los de FSAE pueden utilizar esta tecnología para asegurar un control térmico adecuado en sus vehículos, maximizando su rendimiento y seguridad en las pistas.

Esquema P&ID FSAE 2024

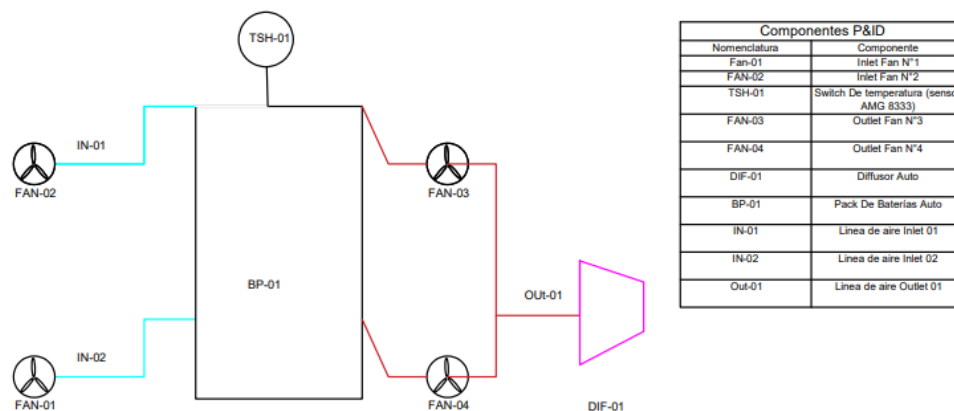


Ilustración 30 Diagrama P&ID Refrigeración baterías FSAE 2024

Factibilidad económica.

Análisis de Costos Ajustado (Presupuesto: 1,000,000 Pesos)

1. Diseño y Simulación

- Licencia de Software ANSYS (anual): Auspiciada (0 Pesos)
- Computadoras y Estaciones de Trabajo: 100,000 Pesos
- Capacitación y Consultoría (si es necesario): 50,000 Pesos

2. Componentes del Sistema de Refrigeración

- Sensor de Temperatura AMG8833: 5,000 Pesos (2 unidades)
- Placa Arduino UNO: 3,000 Pesos (2 unidades)
- Extractor de Aire (TD-800200N 3V MIXVENT SP): 10,000 Pesos
- Materiales para Ductos de Aire y Aislamiento: 30,000 Pesos
- Ventiladores Adicionales y Componentes Menores: 20,000 Pesos

3. Implementación y Pruebas

- Costos de Fabricación de Prototipos (incluye material de baterías): 150,000 Pesos
- Costos de Pruebas en Pista y Laboratorio: 80,000 Pesos
- Sensores y Equipos de Monitoreo Adicionales: 40,000 Pesos

4. Gastos Administrativos y Misceláneos

- Gastos de Viaje y Transporte (para pruebas en pista): 100,000 Pesos
- Materiales de Oficina y Gastos Misceláneos: 30,000 Pesos

5. Contingencia y Reserva para Imprevistos

- Reserva para Costos Inesperados: 100,000 Pesos (10% del total acumulado)

Resumen de Costos

Categoría	Costo Estimado
Diseño y Simulación	150,000 Pesos
Componentes del Sistema	68,000 Pesos



Implementación y Pruebas	270,000 Pesos
Gastos Administrativos	130,000 Pesos
Total sin Contingencia	618,000 Pesos
Contingencia (10%)	100,000 Pesos
Total con Contingencia	718,000 Pesos

Tabla 4 Resumen de Costos

Con un presupuesto de 1 millón de pesos y las licencias de ANSYS auspiciadas, el proyecto de gestión térmica para el vehículo de competición Formula SAE 2024 está bien financiado. El presupuesto cubre ampliamente todos los costos estimados, incluyendo diseño, simulación, componentes del sistema de refrigeración, implementación, pruebas, y gastos administrativos, con una reserva sustancial para contingencias. Esto permite una cierta flexibilidad para ajustes o mejoras imprevistas en el proyecto, garantizando que el equipo tenga los recursos necesarios para alcanzar sus objetivos con éxito. La asignación prudente de fondos también permite una gestión eficiente del presupuesto, asegurando la optimización de recursos y la calidad del proyecto.

Análisis de Factibilidad Económica

Costo-Beneficio Inmediato

- **Costos Iniciales:** Incluyen diseño, desarrollo, pruebas y otros gastos relacionados, totalizando 718,000 Pesos bajo el presupuesto actual.
- **Beneficios a Corto Plazo:** Mejoras en el rendimiento y la eficiencia del vehículo de competición, potencialmente llevando a mejores resultados en competencias y elevando el prestigio del equipo y de la institución.

Contribución a Largo Plazo en Electromovilidad

- **Innovación en Gestión Térmica:** Desarrollo de técnicas avanzadas de gestión térmica aplicables a vehículos eléctricos, un área crítica para la eficiencia y seguridad de estos sistemas.
- **Educación y Desarrollo de Habilidades:** El proyecto proporciona una plataforma para la formación de estudiantes e investigadores en tecnologías de vehículos eléctricos, contribuyendo al desarrollo de talento en un campo en rápido crecimiento.
- **Publicaciones y Colaboraciones:** Posibilidad de publicar hallazgos y metodologías en foros académicos y técnicos, fomentando colaboraciones y reconociendo la institución como un líder en investigación y desarrollo en electromovilidad.

Impacto en la Industria de Electromovilidad



- **Aplicabilidad en Vehículos Comerciales:** Los avances en gestión térmica para condiciones extremas en competencias pueden ser adaptados para mejorar la eficiencia y seguridad en vehículos eléctricos comerciales.
- **Contribución a Estándares y Normativas:** Los resultados del proyecto pueden influir en el desarrollo de futuros estándares y normativas para vehículos eléctricos.
- **Potencial de Patentes y Comercialización:** Innovaciones significativas en el proyecto pueden llevar a patentes y oportunidades de comercialización, abriendo nuevas vías de ingresos y colaboraciones con la industria.

Proyección Futura

- **Desarrollo Sostenible:** El proyecto se alinea con las tendencias globales hacia la movilidad sostenible, respaldando la transición a vehículos eléctricos más eficientes y seguros.
- **Adaptabilidad y Escalabilidad:** Las tecnologías desarrolladas pueden ser escaladas y adaptadas para una amplia gama de aplicaciones en el sector de la electromovilidad.
- **Liderazgo en Innovación:** Establece a la institución y al equipo como líderes en innovación en electromovilidad, atrayendo interés académico, industrial y financiación para futuros proyectos.

El proyecto de gestión térmica para el vehículo de competición Formula SAE 2024 es económicamente factible con un presupuesto de 1 millón de pesos. Más allá de su éxito inmediato en competencias, tiene el potencial de contribuir significativamente al desarrollo de la electromovilidad. Al abordar desafíos críticos en gestión térmica, el proyecto no solo mejora la eficiencia y seguridad de los vehículos eléctricos de competición, sino que también se posiciona como una referencia en la investigación y desarrollo de tecnologías aplicables en el creciente mercado de vehículos eléctricos. Este enfoque de largo alcance garantiza que el proyecto no solo sea una inversión en la competición actual, sino también una contribución valiosa al futuro de la electromovilidad.

La matriz FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) es una herramienta de análisis estratégico que puede proporcionar una visión clara sobre las potencialidades y los desafíos de tu proyecto de gestión térmica para el vehículo de competición Formula SAE 2024. Este análisis ayudará a identificar áreas clave para enfocar esfuerzos y maximizar el impacto del proyecto.

Matriz FODA del Proyecto de Gestión Térmica

Fortalezas

1. **Innovación Técnica:** Desarrollo de avanzadas soluciones de gestión térmica para vehículos eléctricos de competición.
2. **Soporte Académico:** Fuerte respaldo de la Universidad de Santiago de Chile y acceso a recursos y conocimientos.
3. **Colaboración con la Industria:** Potencial para asociaciones industriales, especialmente con ANSYS proporcionando licencias.
4. **Equipo Calificado:** Disponibilidad de talento y conocimiento especializado en el equipo de proyecto.

Oportunidades

1. **Crecimiento de la Electromovilidad:** Aumento en la demanda de soluciones eficientes para la gestión térmica en vehículos eléctricos.
2. **Potencial de Publicación y Reconocimiento:** Oportunidades para publicar hallazgos y recibir reconocimiento en conferencias y revistas especializadas.
3. **Innovación Aplicable a la Industria:** Posibilidad de transferencia tecnológica a vehículos eléctricos comerciales.
4. **Fomento de la Sostenibilidad:** Contribución a la movilidad sostenible y al cumplimiento de objetivos medioambientales.

Debilidades

1. **Limitaciones Presupuestarias:** Aunque adecuado, el presupuesto es fijo y podría limitar algunas opciones.
2. **Recursos de Pruebas Limitados:** Dependencia de instalaciones específicas para pruebas en pista.
3. **Desafíos de Implementación:** Complejidad en la integración de sistemas de gestión térmica con otros componentes del vehículo.
4. **Riesgo de Retrasos:** Posibles demoras en el desarrollo debido a complicaciones técnicas o logísticas.

Amenazas

1. **Avances Tecnológicos Rápidos:** Riesgo de obsolescencia tecnológica debido al rápido avance en el campo de la electromovilidad.

2. **Competencia en Investigación:** Otras instituciones o empresas que trabajan en proyectos similares.
3. **Cambios en Normativas o Estándares:** Posibles modificaciones en las normativas de competición que afecten el diseño del vehículo.
4. **Limitaciones del Mercado:** Dificultades para comercializar las tecnologías desarrolladas.

El proyecto de gestión térmica para el vehículo de competición Formula SAE 2024, fundamentado en la Universidad de Santiago de Chile, representa una oportunidad única para combinar talento y maestría en un campo innovador y de relevancia creciente. Las fortalezas del proyecto, como la innovación técnica y el apoyo académico, junto con las oportunidades presentes en el creciente campo de la electromovilidad, posicionan a este proyecto no solo como un competidor destacado en las competiciones de Formula SAE, sino también como un contribuyente significativo al avance de la tecnología de vehículos eléctricos.

A través de una gestión estratégica que aproveche estas fortalezas y oportunidades, mientras aborda sus debilidades y se prepara para las amenazas potenciales, el proyecto está bien posicionado para lograr un impacto significativo tanto en el ámbito académico como en la industria. El talento y la maestría del equipo, junto con una visión clara y un enfoque estratégico, serán cruciales para llevar a cabo este proyecto con éxito y establecer un nuevo estándar en la tecnología de vehículos eléctricos de competición.

Conclusiones.

En el desarrollo de este proyecto de gestión térmica para el banco de baterías del vehículo de competición Formula SAE 2024, se ha desplegado un enfoque meticuloso respaldado por la utilización de herramientas avanzadas. Una de las piedras angulares de este proceso fue la aplicación estratégica de ANSYS, una plataforma de simulación multifísica, que se reveló como una herramienta invaluable para la toma de decisiones fundamentales.

La estrategia proactiva de iniciar el proceso de refrigeración antes de alcanzar temperaturas críticas, combinada con la elección de la convección forzada para disipar el calor, se fundamentó en análisis detallados llevados a cabo mediante ANSYS. Esta herramienta permitió evaluar escenarios térmicos bajo condiciones específicas de competición, proporcionando una comprensión profunda de los desafíos y oportunidades que enfrenta el sistema.

La utilización de ANSYS para el análisis térmico del banco de baterías ofreció una visión detallada de la distribución de calor, permitiendo identificar áreas propensas al sobrecalentamiento y, por ende, contribuyendo significativamente a la toma de decisiones en la optimización del diseño y la gestión térmica. La simulación actuó como un recurso invaluable para evaluar la eficiencia del sistema de refrigeración propuesto y para anticipar posibles contingencias térmicas durante las competiciones.

En este contexto, ANSYS se erige no solo como una herramienta de simulación, sino como un aliado estratégico que facilitó la toma de decisiones informadas y la optimización continua del sistema. La elección de métodos activos de gestión térmica, la selección de componentes y la validación de la estrategia de refrigeración fueron procesos enriquecidos gracias a la capacidad de ANSYS para modelar y simular complejos fenómenos térmicos. En resumen, la integración de esta herramienta en el proyecto fue esencial para garantizar un enfoque holístico y respaldar la efectividad de las decisiones tomadas en la gestión térmica del banco de baterías Emrax 228.

Referencias.

Libros:



1. Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2009). Wind Energy Explained: Theory, Design and Application (2nd ed.). Wiley.
2. Miller, T. J. E. (2014). Brushless Permanent-Magnet Motor Design. McGraw-Hill Education.
3. Chen, Z., Mi, C., & Zhang, Y. (Eds.). (2018). Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications. Springer.

Artículos Científicos:

1. Smith, K., & Pradeep, P. (2019). Thermal Management of Electric Vehicle Battery Systems. Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering, 10, 183-205.
2. Luo, G., Wang, Y., & Wang, C. Y. (2015). Thermal Issues in Lithium-Ion Batteries: A Review. Energy Storage Materials, 1, 136-162.

Recursos en Línea:

1. SAE International. (2022). Formula SAE Rules. Obtenido desde: <https://www.sae.org/attend/student-events/formula-sae/rules>
2. ANSYS. (2022). ANSYS Simulation Solutions for Electric Drives. <https://www.ansys.com/industries/electronics/electric-drives>

Sitios Web:

1. Battery University. (<https://batteryuniversity.com/>): Este sitio web proporciona información detallada sobre la gestión térmica y otros aspectos relacionados con las baterías.
2. Electric Vehicle Library. (<https://www.electroniclibrary.org/>): Recopilación de recursos sobre vehículos eléctricos, incluyendo temas relacionados con la gestión térmica de baterías.



ANEXOS

Código

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Adafruit_AMG88xx.h>
```

```
Adafruit_AMG88xx amg;
```

```
const int ledPin = 13; // Define el pin del LED
```

```
const float tempThreshold = 10.0; // Define el umbral de temperatura en grados Celsius
```

```
void setup() {
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    Serial.println(F("AMG88xx test"));
```

```
    pinMode(ledPin, OUTPUT); // Configura el pin del LED como salida
```

```
    bool status;
```

```
    // default settings
```

```
    status = amg.begin();
```

```
    if (!status) {
```

```
        Serial.println("Could not find a valid AMG88xx sensor, check wiring!");
```

```
        while (1);
```

```
    }
```

```
    Serial.println("-- Thermistor Test --");
```



```
Serial.println();

delay(100); // let sensor boot up
}

void loop() {

    float temperature = amg.readThermistor();

    Serial.print("Thermistor Temperature = ");

    Serial.print(temperature);

    Serial.println(" *C");

    if (temperature >= tempThreshold) {

        digitalWrite(ledPin, HIGH); // Enciende el LED si la temperatura supera el umbral

    } else {

        digitalWrite(ledPin, LOW); // Apaga el LED si la temperatura es menor que el umbral

    }

    Serial.println();
```

