

Estudio del enfriamiento de baterías de automóviles eléctricos mediante la dinámica de fluidos computacional (CFD)

Study of electric car batteries cooling using computational fluid dynamics (CFD)

Agustín Ramon Uribe Ramirez¹, Jorge Arturo Alfaro Ayala¹, Karina González Hernández¹, Margarita Guadalupe Correa Ibarra¹, Grecia Sánchez Montes¹, Eduardo Méndez Sotelo¹, José Antonio Llera Ledesma¹, André López Rendon¹.

¹Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Col. Noria Alta s/n, CP. 36050, Guanajuato, Gto.
agustin@ugto.mx¹, ja.alfaroayala@ugto.mx¹, kgonzalezherandez@ugto.mx¹, mg.correaibarra@ugto.mx¹, g.sanchezmontes@ugto.mx¹, e.mendezsotelo@ugto.mx¹, ja.lleraledesma@ugto.mx¹, a.lopezrendon@ugto.mx¹

Resumen

En este trabajo se estudian estrategias de gestión térmica de las baterías de iones de litio de manera numérica, un componente crucial en vehículos eléctricos (EV) y vehículos híbridos eléctricos (HEV). Debido a su alta densidad de energía, estas baterías presentan desafíos significativos en términos de enfriamiento, lo cual es esencial para su eficiencia y seguridad. La investigación se centra en la comparación entre sistemas de enfriamiento con y sin aletas, destacando que, aunque los sistemas con aletas son más costosos, mejoran la disipación de calor y la fiabilidad del sistema. Utilizando el modelado CFD, se simulan y analizan diferentes configuraciones y condiciones operativas para mejorar la gestión térmica de las baterías. La disposición y el espaciado entre celdas, así como la ubicación de los ventiladores, son factores clave que afectan en la uniformidad de la temperatura y la eficacia del enfriamiento.

En el estudio se demuestra que la implementación de aletas de enfriamiento en las celdas de las baterías, utilizando un arreglo cuadrado (5 x 5) y 4 aletas distribuidas por celdas, puede mejorar significativamente la transferencia de calor, manteniendo las temperaturas de operación dentro del rango óptimo de 20-40°C. Esto es crucial para prevenir la degradación de las celdas y alargar su vida útil ^[7]. A pesar de los mayores costos asociados con la fabricación de baterías con aletas, el rendimiento térmico logrado pudiera justificar la inversión. El uso de CFD proporciona valiosos conocimientos para diseñar sistemas de gestión térmica en baterías de vehículos eléctricos. Este análisis también establece una base para futuras investigaciones y optimizaciones en el diseño de sistemas de enfriamiento para baterías de iones de litio.

Palabras clave: Baterías de iones de litio; CFD; aletas; arreglo geométrico; automóviles eléctricos.

Introducción

En la actualidad, el estudio del enfriamiento de baterías es fundamental para mejorar la eficiencia y la seguridad de los vehículos eléctricos. Las baterías de iones de litio, utilizadas ampliamente en vehículos eléctricos (EV) e híbridos (HEV), presentan desafíos significativos en términos de gestión térmica debido a su alta densidad de energía y capacidad. Es por ello que se deben realizar estudios para abordar estos desafíos ^[1,2].

Las estrategias de enfriamiento pueden ser pasivas o activas. Los sistemas de enfriamiento pasivo dependen del flujo de aire ambiental para disipar el calor, mientras que los sistemas activos utilizan ventiladores u otros dispositivos para mejorar la transferencia de calor. Aunque los sistemas activos incrementan el costo, también mejoran significativamente la disipación de calor y la fiabilidad del sistema ^[3, 4]. Diseños innovadores como cortes oblicuos en aletas rectas tradicionales han demostrado mejorar la transferencia de calor y optimizar el rendimiento térmico general de los sistemas de enfriamiento ^[5, 6].

La gestión térmica adecuada es crucial para mantener la temperatura de las baterías dentro de un rango óptimo de operación, lo que previene la degradación y mejora la vida útil de las celdas. El modelado CFD permite simular y analizar el comportamiento térmico de las baterías bajo diferentes configuraciones y condiciones operativas. Por ejemplo, los estudios han demostrado que la disposición y el espaciado entre celdas, así como la ubicación de los ventiladores, pueden afectar significativamente la uniformidad de la temperatura y la eficacia del enfriamiento ^[7]. Los resultados obtenidos de estos estudios son esenciales para diseñar sistemas de gestión térmica eficientes que mantengan las baterías en un rango de temperatura seguro durante su operación. Es decir, el uso de CFD proporciona valiosos conocimientos

que pueden ser aplicados para optimizar la gestión térmica, mejorando así la eficiencia y seguridad de los vehículos eléctricos ^[1,3,4].

En los últimos años, el desarrollo de los vehículos eléctricos (EV) y los vehículos híbridos eléctricos (HEV) ha avanzado rápidamente, siendo las baterías de iones de litio un componente clave para su evolución. Para mejorar la eficiencia, la vida útil y la seguridad de estas baterías, es crucial mantener la temperatura de operación en un rango de 20-40°C. Durante los procesos de carga y descarga, las celdas de las baterías generan una cantidad significativa de calor, lo que hace esencial una gestión térmica adecuada para disipar este calor y mantener la uniformidad de la temperatura en el paquete de baterías ^[5,8]. La importancia de estos sistemas para el funcionamiento eficiente de un BTMS (Battery Thermal Management Systems) ha sido destacada por algunos estudios ^[9]. Entre los refrigerantes disponibles para los paquetes de baterías refrigerados por líquido, uno comúnmente empleado es el disolvente agua/glicol, en el que el glicol se utiliza para reducir el punto de congelación del agua ^[10].

Zolot ^[11] estudió el paquete de baterías para un automóvil eléctrico Toyota Prius y analizó su comportamiento térmico junto con el flujo de aire a través del paquete. Sabbah ^[12,13] comparó la efectividad del enfriamiento pasivo mediante materiales de cambio de fase (PCM) con el enfriamiento activo por aire forzado. En resumen, los estudios anteriores se han enfocado más en la investigación de módulos de baterías comerciales y han contribuido a el manejo térmico de las baterías Li-ion ^[7]. Sin embargo, este estudio también involucra el uso de aletas en las celdas de las baterías para así comprobar la eficacia de dichas estructuras en las baterías.



Figura 1. Apariencia de batería Li-ion.

Tesla es reconocida como un icono de la industria automotriz eléctrica y hasta el momento, se ha usado un paquete de celdas identificado por el número de modelo "18650". Estas son celdas de batería pequeñas, un poco más grandes que las pilas AA estándar y tienen 18 mm de diámetro y 65 mm de alto. La batería más popular suministrada por Tesla contiene 7,104 celdas 18650 en 16 módulos de 444 celdas cada uno, en la Figura 1 se muestra un ejemplo del arreglo que tienen las celdas de litio dentro de las baterías de los vehículos eléctricos, estas celdas son capaces de almacenar hasta 85 kWh de energía. Para mejorar aún más la eficiencia de la celda y reducir los costos, se produce un diseño de celda llamado "2170", porque tiene 21 mm de diámetro y 70 mm de altura. El diseño 2170 es un 46% más grande en volumen que el 18650 y entre 10% y 15% más eficiente, según JB Straubel, director de tecnología de Tesla ^[14, 15].

Metodología.

Se empleó el software comercial ANSYS Fluent® para llevar a cabo las simulaciones y se selecciona una batería de ion litio comercial de Sanyo 18650 como caso de estudio (Tabla 1). La construcción del modelo se realiza bajo dimensiones de la batería Sanyo con el fin de realizar comparaciones y juicios claros.

EAN / GTIN	7417940526706
Peso (g)	46.4000
Modelo	UR18650ZM2
Tamaño de la batería	18650
Química de la batería	Li - ion
Voltaje	3.6 V
Mín. Capacidad (mAh)	2.420,00
Capacidad tip. (mAh)	2.470,00
Versión de batería	Superficie plana
Corriente de descarga (A)	8,00
Protección del circuito	Desprotegido
Altura (mm)	65,10
Diámetro (mm)	18,30

Tabla 1. Propiedades de batería de litio marca Sanyo 18650.

Se puede determinar la potencia generada durante el proceso de descarga bajo diferentes tasas de corriente mediante experimentos de descarga con aislamiento térmico combinados con ecuaciones caloríficas [7]. Se asume que la cantidad total de calor generado por la celda en condiciones adiabáticas contribuye al aumento de temperatura y que hay poca diferencia de temperatura a lo largo de la dirección radial de la celda durante el proceso de descarga con aislamiento térmico; por lo tanto, se utiliza el valor promedio de la temperatura más alta y la más baja de los puntos de medición inicial y final para calcular el valor calorífico.

El valor calorífico se expresa como:

$$Q = C_p m \Delta T.$$

La potencia térmica generada durante el proceso de descarga se puede derivar como:

$$P = \frac{Q}{t}$$

- Método de Simulación

Modelo agrupado de celda única

Cada celda de la batería se considera un cilindro homogéneo con una fuente de generación de calor interna. Aunque los componentes internos tienen propiedades termo físicas teóricamente diferentes, cada celda del módulo de batería se trató como un cuerpo homogéneo con propiedades termo físicas constantes.

Durante la descarga, las ecuaciones de gobierno del módulo de batería se expresan como sigue:

Ecuación de continuidad

$$\nabla \vec{v} = 0$$

Ecuación de conservación del momento

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \nabla) \vec{v} = -\frac{\nabla p}{\rho} + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \vec{v}$$

Ecuación de conservación de energía

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T \right) = \nabla \cdot (\kappa_t \nabla T)$$

Condiciones de frontera

Se considera un ventilador como entrada de aire con la condición de frontera de velocidad de 1 m/s y una abertura circular como salida de aire con presión atmosférica. Se define un escenario de simulación de 1 volumen rectangular de aire y 25 volúmenes cilíndricos que representan las celdas de la batería, este escenario se discutirá más adelante. Se tomaron dos modelos de simulación con el fin de lograr una comparación entre ambos. Para el primer modelo de simulación se consideraron únicamente las baterías de litio y para el segundo modelo simulado se agregó un revestimiento de 2.3 mm de plástico ABS (Figura 2 y Tabla 2) cuyo objetivo comercial es la resistencia a ataques químicos y tienen una resistencia a altas temperaturas; así como también unas aletas de enfriamiento para una mejor distribución de la transferencia de calor en el sistema. Las geometrías para las simulaciones se muestran en las Figuras 3 y 5 respectivamente.

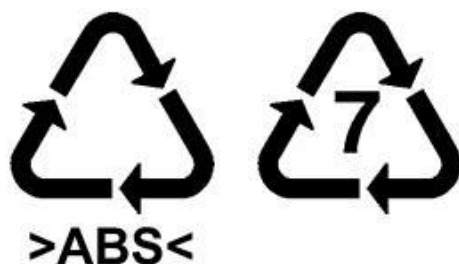


Figura 2. Símbolo del reciclaje para el ABS, que engloba el de los plásticos en general.

Nombre	Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS).
Composición química	$(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$
Densidad	1010 – 1210 Kg/m ³
Temperatura de transición vítrea	87.9 – 118 °C
Temperatura de fusión	200 – 245 °C
Conductividad térmica	0.188 – 0.335 W/m*K
Capacidad calorífica específica	1.39×10^3 – 1.92×10^3 J/m*K

Tabla 2. Propiedades de material ABS.

Para ambos modelos se consideró una potencia generada por batería de 1.0284 W, este valor se obtiene del trabajo reportado por Wang, et al.^[7]. La velocidad de flujo de entrada del aire del ventilador se mantiene constante a 1 m/s para ambas simulaciones. Se asume una condición de salida libre para las aberturas en la simulación. Esto proporciona un marco claro para la realización de simulaciones numéricas para el estudio del comportamiento térmico de las celdas de ion litio bajo diferentes condiciones de descarga y ambientales.

Geometría y mallado.

Se utilizaron diferentes configuraciones en la geometría, variando la separación, el espaciamiento entre las celdas y la caja. Se tomó como punto de partida el trabajo reportado por Wang, et al.^[7]. En este trabajo se menciona que el mejor arreglo de las celdas es el cuadrado (5 x 5), con las especificaciones que se mencionan en la Figura 3.

Detalles Generales	Geometría
---------------------------	------------------

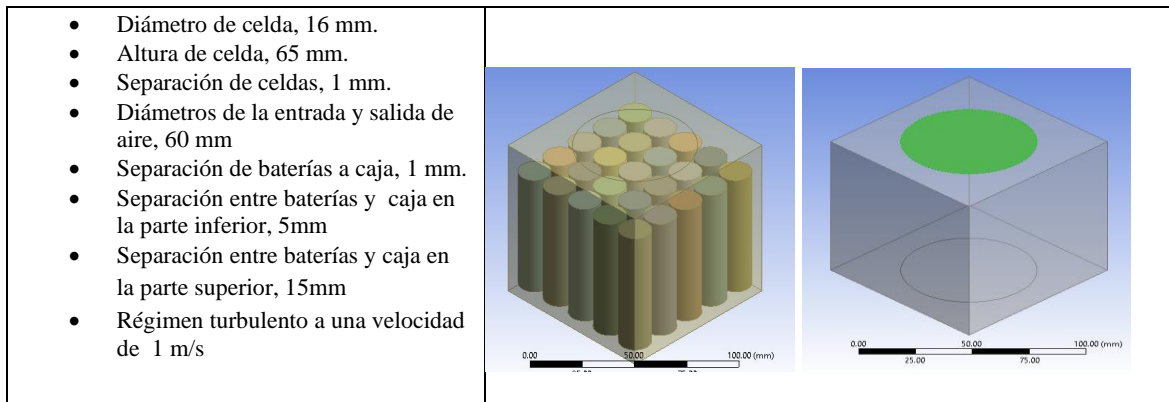


Figura 3. Datos generales de geometría [7]

Se hizo el análisis de la malla modificando su tamaño y así poder tomar la decisión de utilizar la malla que mejores resultados se obtengan a la hora de realizar la simulación (Figura 4).

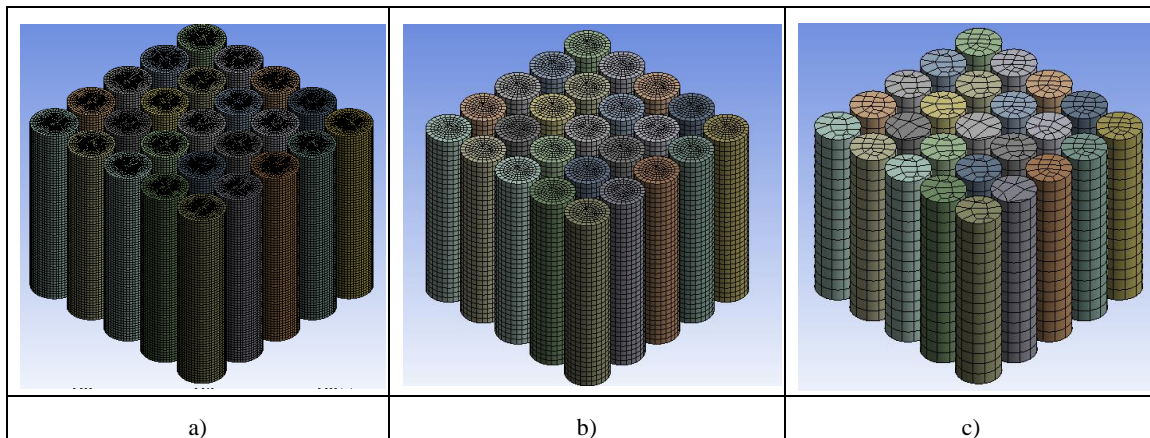


Figura 3. Simulación de a) mallado de 0.001m. b) Mallado de 0.002m. c) Mallado de 0.01m.

Propuesta de mejora.

Para la segunda simulación se añadieron aletas de aluminio a las celdas, así como el recubrimiento de ABS por lo que cambio la configuración de la geometría, además se sustituyó la única entrada de aire por 9 entradas de aire con sus respectivas salidas, los datos generales se enlistan en la Figura 5.

Detalles Generales	Geometría
--------------------	-----------

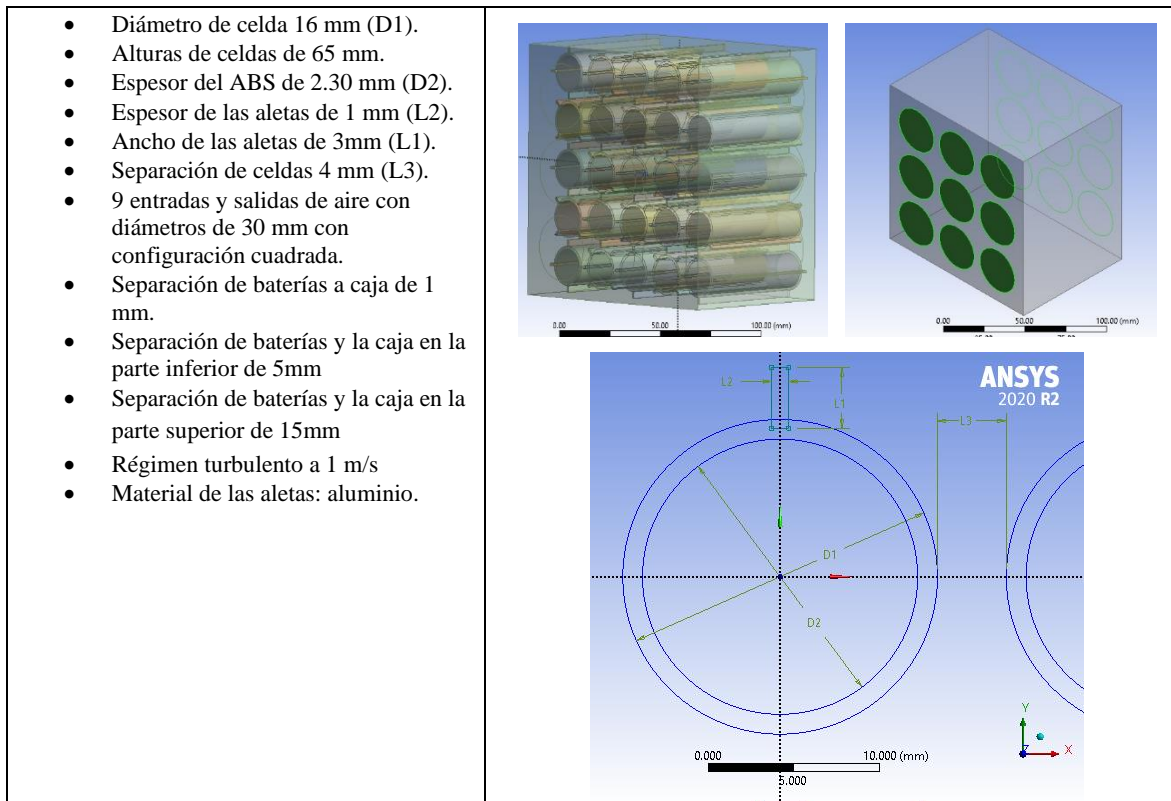


Figura 4. Datos generales de la segunda geometría propuesta.

Por lo tanto, la malla que mostró que los resultados de la caída de presión fueran independientes de ésta, fue de la que se muestra en la Figura 6 con 0.002 m de tamaño de malla.

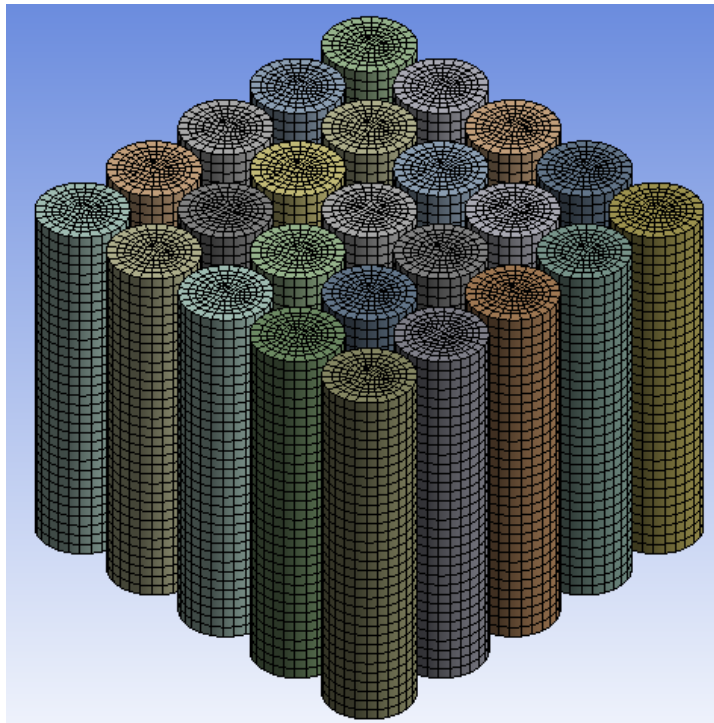


Figura 6. Análisis de malla: medida de la malla de 0.002 m.

Resultados.

Análisis de sensibilidad de la malla.

Para la selección del tamaño de la malla a utilizar en la simulación, se realizó un análisis de sensibilidad que se muestra en la Figura 7. Se puede observar que a partir de un tamaño de malla de 0.002 m (0.57 millones de celdas), la presión se mantiene aproximadamente constante, por lo cual se escoge este tamaño para todas las simulaciones.

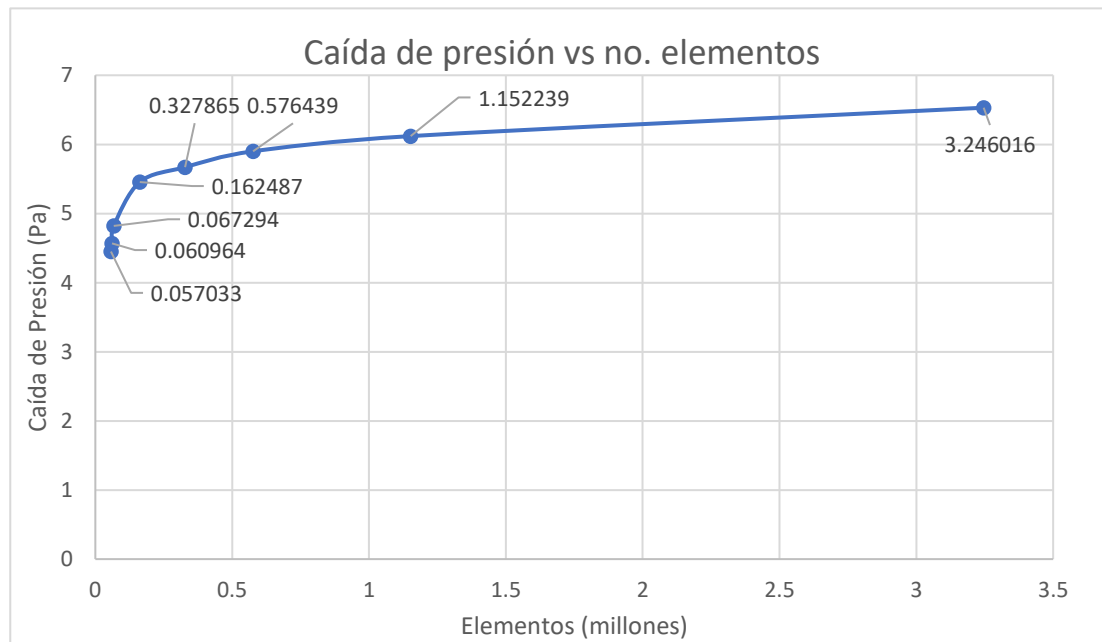


Figura 7. Análisis de sensibilidad de malla.

Validación del modelo.

Se replicaron los resultados obtenidos por Wang, et al.^[7] para un arreglo cuadrado de 25 celdas con una separación de 4 mm como se muestra en la Figura 8. En esta se observa que la temperatura más alta alcanzada por las celdas en las esquinas del arreglo cuadrado es de 312.36 K (39.21°C), muy cercano al valor máximo que una celda soporta para tener un funcionamiento adecuado (20 - 40 °C). La temperatura más baja alcanzada por las celdas posicionadas en el centro del arreglo cuadrado es de 309.96 K (32.71°C). Asimismo, se puede observar que la temperatura no se distribuye uniformemente ya que las celdas de los extremos presentan mayor temperatura, lo cual se debe al diámetro y la posición del ventilador.

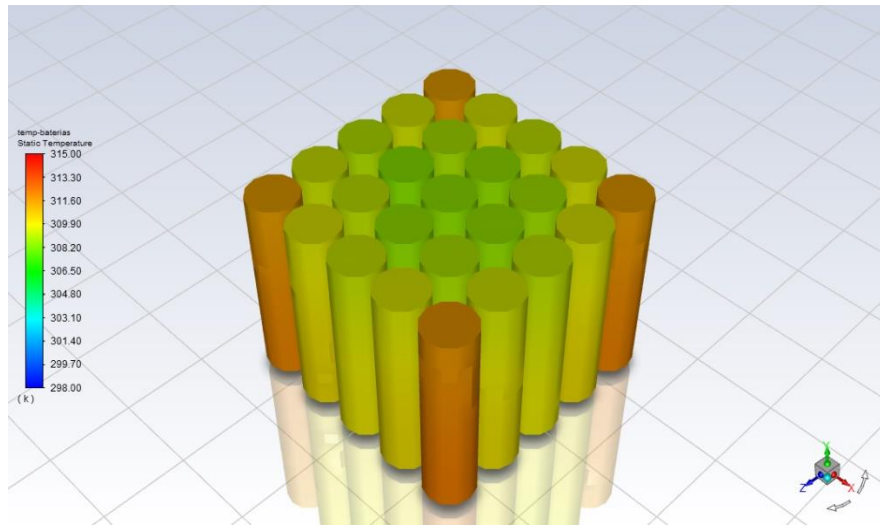


Figura 8. Contorno de la temperatura de la simulación basada en el artículo de Wang et al. del acomodo cuadrado de 25 celdas.

En la Figura 9 se pueden observar los contornos de temperatura en la mitad de las celdas junto con el contorno de la temperatura del aire que las rodea. En la Figura 6 se observa que las celdas que se encuentran en el centro del arreglo cuadrado tienen menor temperatura que las celdas que se posicionan en las esquinas del arreglo cuadrado. Se puede apreciar la temperatura más baja entre celdas que se ubican en el centro del dominio debido al flujo constante de aire que se definió como condiciones de frontera.

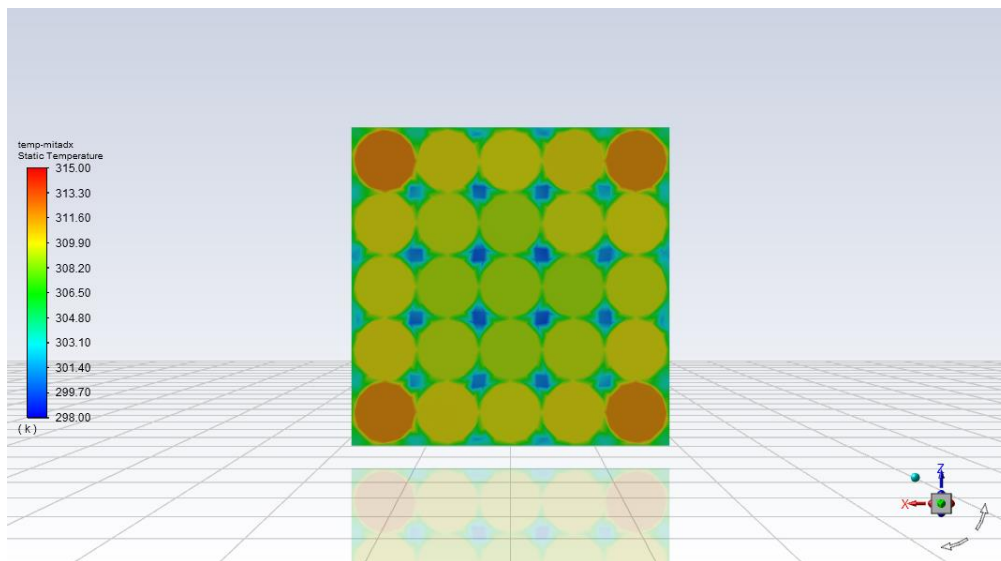


Figura 9. Contorno de la temperatura de la simulación basada en el artículo de Wang et al. viendo la mitad de las celdas y el aire que las rodea.

En el artículo de Wang, et al.^[7] se muestran resultados de temperatura para el acomodo cuadrado de las celdas de un máximo de 44.48°C y un mínimo de 30.85 °C. Esto nos otorga un porcentaje de error en la temperatura máxima de 11.8% y en la mínima el error es de 6.1%, por lo que se puede considerar que el modelo predice de manera adecuada las distribuciones de temperatura en el dominio.

Celdas aletadas.

Para la simulación con celdas aletadas, se tomaron como referencia las propuestas por Zhao, et al. [5], que consiste en el acomodo de 25 celdas en arreglo cuadrado con aletas, como se muestra en las Figuras 5. En la Figura 10 se muestra la distribución de temperaturas en las paredes de las celdas aletadas vistas desde una posición isométrica. La temperatura máxima obtenida en las celdas posicionadas en las esquinas de la geometría es de 307.5 K (30.35°C), este valor es menor que la temperatura máxima obtenida en la simulación sin aletas de la Figura 8. En este caso con aletas, la temperatura mínima obtenida es de 305.5 K (28.5°C).

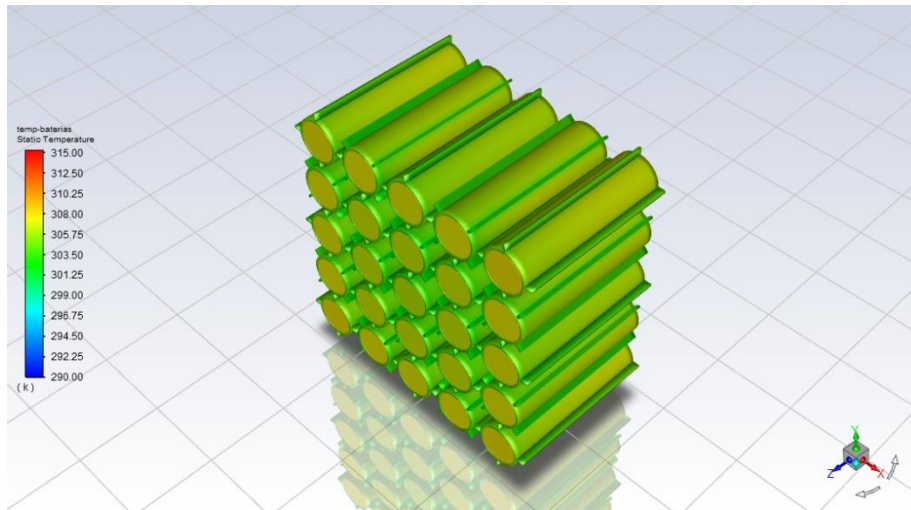


Figura 10. Contorno de la temperatura de la simulación de celdas con aletas del acomodo cuadrado de las 25 celdas con aletas.

En la Figura 11 se muestra un perfil de distribución de temperaturas en el plano transversal a las celdas. El arreglo de las celdas es cuadrado y se puede apreciar un contorno de temperatura uniforme en la mayoría de las celdas, sólo en las celdas de las esquinas se observa una temperatura ligeramente mayor al resto.

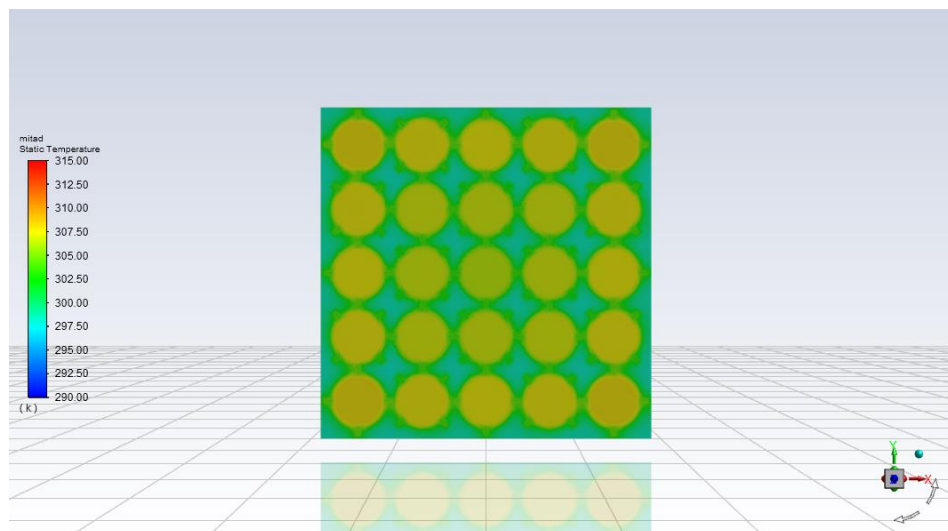


Figura 11. Contorno de la temperatura de la simulación de las celdas con aletas viendo el plano que divide por mitad de largo las baterías y el aire que envuelve a las mismas.

A continuación, en la Figura 12 se muestra una comparación entre los resultados de ambas simulaciones, a la misma escala de temperaturas. Como se puede observar, el uso del aislante ABS con aletas ayuda a la disminución de la temperatura máxima alcanzada y se logra obtener una temperatura más homogénea en las baterías; esto beneficia su vida útil.

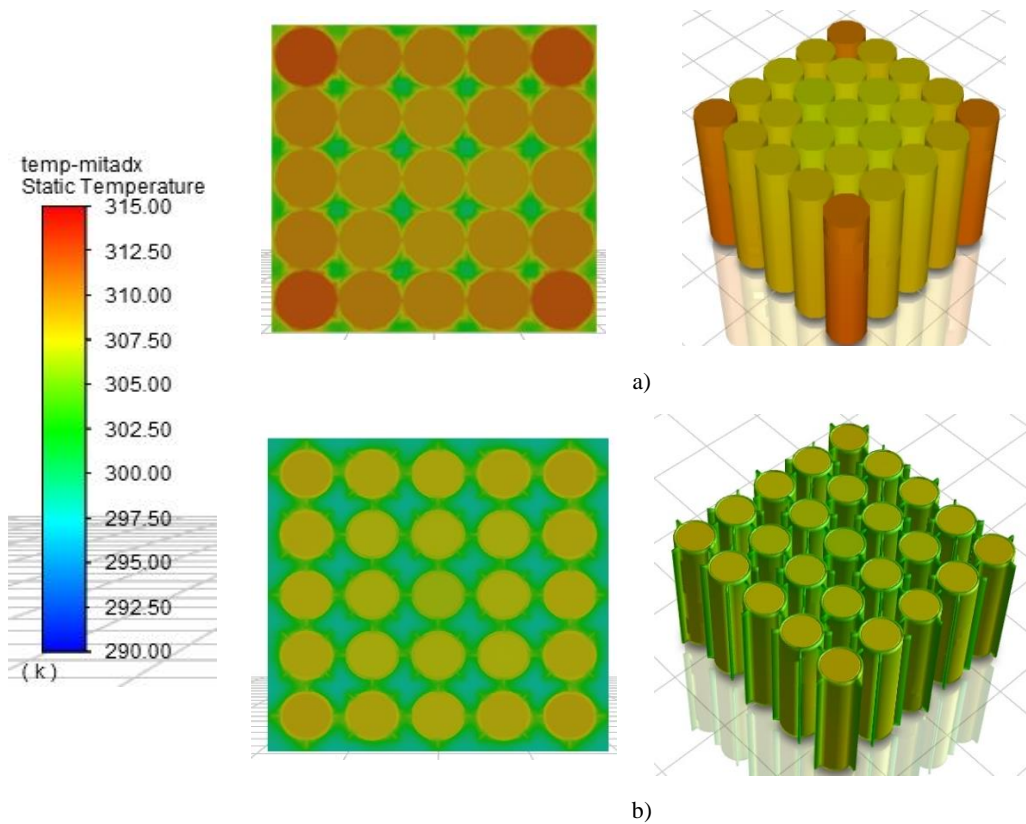


Figura 12. Comparación de las dos simulaciones con la misma escala de temperatura.

Por otra parte, se simuló la geometría con diferentes velocidades del fluido (1 m/s, 2 m/s y 3 m/s). Los resultados obtenidos de la caída de presión se compararon con estas velocidades, como se muestra en la Figura 13.

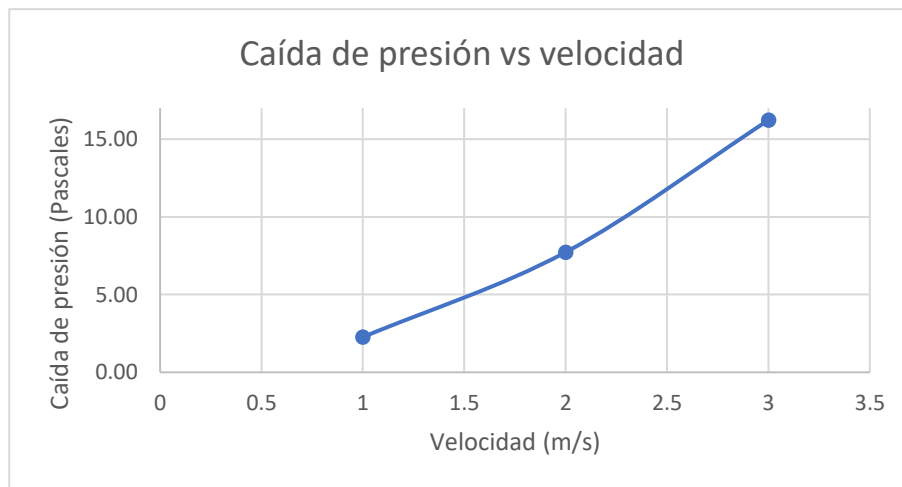


Figura 13. Incremento de la caída de presión a mayor velocidad.

Como se observa en la Figura 13, los resultados obtenidos a diferentes velocidades muestran que la caída de presión se incrementa significativamente al aumentar su valor arriba de 1 m/s, sin obtener una disminución considerable en las temperaturas, ver Tabla 6. Por esta razón se selecciona este valor de la velocidad para las simulaciones y es el mejor valor de velocidad para el sistema de enfriamiento de celdas de baterías de automóviles eléctricos para la configuración mostrada en la Figura 5.

Velocidad (m/s)	Caída de presión (pascales)	Porcentaje de incremento de la caída de presión %	Temperatura mínima en baterías (K)	Porcentaje de disminución de temperatura mín. %	Temperatura máxima en baterías (K)	Porcentaje de disminución de temperatura máx. %
1	2.27	-	303.01	-	307.86	-
2	7.73	241.145	301.01	0.6631	305.55	0.8765
3	16.22	616.041	300.36	0.8659	304.51	1.2014

Tabla 5. Análisis de velocidades de celdas aletadas.

Conclusiones.

Las baterías de litio, debido a su funcionamiento, requieren un buen sistema de enfriamiento para mantener un rendimiento óptimo. Entre las geometrías propuestas (con aletas y sin aletas), se observó que en ambos casos las temperaturas de funcionamiento se encuentran dentro del rango de operación adecuado. Sin embargo, la mejor propuesta fue la geometría con aletas de aluminio, ya que la temperatura máxima alcanzada fue de 30.35°C. Además, implementar una batería con aletas implica una mayor inversión debido al costo de diseño y fabricación, lo cual podría justificarse al obtener un mejor rendimiento en su funcionamiento. Este análisis del rendimiento y del costo-beneficio al utilizar estas celdas podría realizarse en un trabajo a futuro. Igualmente, se podría explorar el uso de diferentes geometrías más sencillas con un mejor enfriamiento.

Para lograr un enfriamiento eficaz de las baterías, la velocidad del flujo de aire en las entradas es crucial para reducir la temperatura de las celdas, así como el régimen del fluido. Sin embargo, se observó que la velocidad del flujo de aire está relacionada con la caída de presión del fluido, la cual, a su vez, afecta la potencia que debe manejar el ventilador. La caída de presión mostró un incremento significativo del 616 % al aumentar la velocidad del flujo de aire de 1 m/s a 3 m/s. Por lo tanto, las simulaciones se basaron en este análisis, trabajando a la menor velocidad de 1 m/s en régimen turbulento, ya que presentó resultados factibles para el enfriamiento de las baterías, requiriendo menor potencia.

Este trabajo consideró las baterías de los automóviles fabricados por Tesla (Sanyo 18650). Actualmente, Tesla ha comenzado a implementar baterías de litio con diferentes dimensiones, aumentando el diámetro y la altura de las celdas de 18x65 mm a 21x70 mm respectivamente, sin embargo, este estudio preliminar da pauta a la simulación del enfriamiento óptimo para las dimensiones iniciales y sirve como base para un análisis del enfriamiento de las baterías recientes. De igual manera, este proyecto da pauta a futuras investigaciones.

Los resultados de la simulación con aletas de aluminio evidencian un mejor enfriamiento debido a la interacción entre las aletas de aluminio, el litio y el material ABS. La capacidad calorífica específica de cada material influye en la distribución de temperatura, destacando que la capacidad calorífica del litio es mayor que la del aluminio. Esta diferencia implica que, al estar en contacto las aletas de aluminio con el fluido en régimen turbulento, se logra una mayor disipación de energía. Adicionalmente, se produce un proceso de conducción entre el litio y el aluminio hasta alcanzar un equilibrio térmico conforme a la ley cero de la termodinámica, permitiendo así la obtención de la temperatura reportada dentro del rango, lo cual mejora la vida útil de la batería.

El diseño de las entradas de aire, basado en el estudio de Sharma et al ^[1], mostró una dispersión más eficiente del fluido, resultando en un enfriamiento uniforme de todas las celdas. El sistema incorporó nueve entradas de aire dispuestas lateralmente a las baterías, lo que mejoró significativamente la uniformidad del enfriamiento.

Un sistema de enfriamiento eficiente es necesario para mantener las temperaturas de operación dentro de un rango seguro y óptimo, lo que prolonga la vida útil de las baterías, mejora el rendimiento y garantiza la seguridad del vehículo. Las baterías que operan a temperaturas más bajas tienen una menor tasa de degradación, lo que se traduce en una mayor durabilidad y eficiencia a largo plazo ^[1]. Además, un buen enfriamiento permite a los autos eléctricos mantener un desempeño constante incluso en condiciones de alta demanda, como aceleraciones rápidas o trayectos largos ^[14, 17].

Referencias

- [1] Arun Raj Sharma, Chaduvula Sessa Sai, A. Kumar et al., Three-dimensional CFD study on heat dissipation in cylindrical lithium-ion battery module, *Materials Today: Proceedings*, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02>.
- [2] Hasan, H. A., Togun, H., Mohammed, H. I., Abed, A. M., & Homod, R. Z. (2023). CFD simulation of effect spacing between lithium-ion batteries by using flow air inside the cooling pack. *Journal of Energy Storage*, 72(108631), 108631. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108631>
- [3] Fu, P.; Zhao, L.; Wang, X.; Sun, J.; Xin, Z. A Review of Cooling Technologies in Lithium-Ion Power Battery Thermal Management Systems for New Energy Vehicles. *Processes* 2023, 11, 3450. <https://doi.org/10.3390/pr11123450>.
- [4] S. Hoelle et al 2023 060516 3D Thermal Simulation of Thermal Runaway Propagation in Lithium-Ion Battery Cell Stack: Review and Comparison of Modeling Approaches. *J. Electrochem. Soc.* 170

- [5] Zhao, R., Wen, D., Lai, Z., Li, W., Ye, M., Zhuge, W., & Zhang, Y. (2021). Performance analysis and optimization of a novel cooling plate with non-uniform pin-fins for lithium battery thermal management. *Applied Thermal Engineering*, 194(117022), 117022. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117022>.
- [6] Ali Alzwayi, M. C. P. (2023). Heat transfer enhancement of a lithium-ion battery cell using vertical and spiral cooling fins. *Thermal Science and Engineering Progress*, 47(2024). <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.102304>
- [7] Wang, T., Tseng, K. J., Zhao, J., & Wei, Z. (2014). Thermal investigation of lithium-ion battery module with different cell arrangement structures and forced air-cooling strategies. *Applied energy*, 134, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.013>.
- [8] Verma, A., Saikia, T., Saikia, P., Rakshit, D., & Ugalde-Loo, C. E. (2023). Thermal performance analysis and experimental verification of lithium-ion batteries for electric vehicle applications through optimized inclined mini-channels. *Applied Energy*, 335(120743), 120743. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120743>
- [9] Pesaran AA. Battery Thermal Management in EVs and HEVs: Issues and Solutions. *Battery Man*. 2001;43.
- [10] Chen K, Li X. Accurate determination of battery discharge characteristics – a comparison between two battery temperature control methods. *J Power Sources* 2014;247:961–6. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2013.09.060>.
- [11] Zolot M, Pesaran A, Mihalic M. Thermal evaluation of Toyota Prius battery pack. In: *FutureCar Conference*; 2002. p. 01–1962.
- [12] Tan H, Li Y, Tuo H, Zhou M, Tian B. Experimental study on liquid/solid phase change for cold energy storage of Liquefied Natural Gas (LNG) refrigerated vehicle. *Energy* 2010;35:1927–35.
- [13] Xu X, He R. Research on the heat dissipation performance of battery pack based on forced air cooling. *J Power Sources* 2013;240:33–41.
- [14] Eléctricos, H. y. (2018, febrero 11). *Todo lo que querías saber sobre las baterías de los coches eléctricos de Tesla*. Híbridos y Eléctricos. https://www.hibridosyelectricos.com/coches/todo-querias-saber-baterias-coches-electricos-tesla_17420_102.html
- [15] *Todo Sobre Las Baterías De Tesla: Capacidad, Usos Y Previsiones De Futuro*. (2018, julio 2). EcoInventos; David. <https://ecoinventos.com/las-baterias-tesla-capacidad-usos-previsiones-futuro/>
- [16] De Luna, T. (2023, febrero 24). Más allá del litio... ¿De qué están hechas las baterías de los autos eléctricos? *Expansión*. <https://expansion.mx/empresas/2023/02/24/de-que-estan-hechas-baterias-autos-electricos>
- [17] Tesla, Inc. (s.f). *Coches eléctricos, energía solar y limpia*. Recuperado el 13 de julio de 2024, de https://www.tesla.com/es_mx